

II 6 67

Der Widerstand von Pfahlböcken

gelegentlich Aufrichtung des im Hamburger Hafen
gesunkenen Dampfers der Avaré August 1922
untersucht von

Max Möller
BRAUNSCHWEIG.

II 6
67

Untersuchung zweier Pfähle auf achsialen Zug
und eines Pfahlbockes auf Umwerfen,

gefördert durch das Baugeschäft Fr. Holst, Hamburg und Herrn
Ingenieur Heinrich Butzer, Dortmund,

ausgeführt im Anschluß an die Hebung des im Hamburger Hafen
gesunkenen brasilianischen Dampfers, der "Avaré",

von Professor Dr. Ing. Max Möller, Braunschweig.

= = = = =

I n h a l t s - V e r z e i c h n i s .

Seite

Erster Teil.

Kurze Zusammenstellung der Meßergebnisse

IV

Zweiter Teil.

Gegenstand der Abhandlung.

- | | |
|--|-------|
| 1) Anregung und Entschliebung zur Durchführung der Versuche und Förderung derselben | 1 |
| 2) Wiederaufrichtung der Avaré (Photogr. Reihe I) | 5 |
| 3) Die Anordnung der Pfahlböcke (Photogr. Reihe II) ... | 9 |
| 4) Die Bauart der Pfahlböcke und ihr Verhalten | 10 |
| 5) Die bleibende Veränderung der Pfahlbockstellungen, entstanden infolge ihrer Beanspruchung bei Auf-
richtung der Avaré | 12 |
| 6) Die benutzten hydraulischen Pressen | 12 |
| 7) Die Anordnung der Versuchsvorkehrungen (Blatt IX
und X der Anlage) | 13 |
| 8) Die an den Böcken ausgeführten Untersuchungen
(Photogr. Reihe III) | 14-25 |
| a) <u>Untersuchung A eines Pfahles auf achsialen Zug</u>
Abb. 3 u. 4, Bl. IX, Photogr. III/1 und Zusammen-
stellung 1, Bl. I der Anlage | 14 |
| b) <u>Untersuchung B eines zweiten Pfahles auf achsi-
alen Zug.</u> Abb. 5 u. 6, Bl. IX, Photogr. III/2-5 und
Zusammenstellung 2, Bl. II der Anlage | 15 |



c)	Zusammenfassung der Ergebnisse zu A und B	15
	Bodenuntersuchungen	17
d)	<u>Untersuchung C, Prüfung eines Bockes auf Umwerfen,</u> Abb.7 u.8, Bl.X, Photogr.III/6 und Zusammenstel- lung 3, Bl.III-V der Anlage	18
e)	Theoretische Ableitung des Horizontalwiderstan- des W_h	20
f)	Der theoretische Bockwiderstand (Bl.VII,Abb.1) .	21
g)	Der praktische Bockwiderstand gegen Horizontal- zug	21
h)	Zum neuen Bockentwurf (Abb.3 Bl.VII)	22
i)	Ableitung der Druckkraft im Druckpfahl	22
	1) Größe des Pfahldruckes bei Untersuchung C ...	22
	2) " " " bei 50 t Horizontalkraft	22
	3) " " " bei Aufrichtung des Schiffes	22
2)	<u>Ermittlung der Bockbeanspruchung bei Aufrichtung der Avaré</u>	23
10)	<u>Untersuchung D an einem verstärkten Bock, Abb.9 u. 10, Bl.X, Photogr.III/9 und Zusammenstellung 4, Bl.V d.Anl.</u>	23
11)	<u>Neuer Bockentwurf (Abb.11 u.12, Bl.X)</u>	25
12)	<u>Die Kosten der ausgeführten Untersuchungen</u>	26
13)	<u>Die Beseitigung der Pfahlböcke</u>	27
14)	<u>Schlußbetrachtung</u>	28-32

Dritter Teil.

Anhang.

) Auszüge aus den Meßprotokollen:

Zusammenstellung 1 zu der Untersuchung A	I
" 2 " " " B	II-III
" 3 " " " C	III-V
" 4 " " " D	V-VI
) Graphische Kräfte-Ermittlungen	VII
) Meß-Schablone	VIII
) Die Pfahlböcke und die Untersuchungsvorkehrungen ...	IX-X
Abb.1 u.2 die Pfahlböcke	
" 3 u.4 Untersuchung A auf axialen Zug	
" 5 u.6 " B " " "	
" 7 u.8 " C " Umwerfen	
" 9 u.10 " D, der verstärkte Bock	

Abb. 11 und 12. Neuer Bockentwurf.

5) Photographien.Reihe I. zur Aufrichtung der Avaré.

I ₂ u.1	Die Avaré, vor Beginn der Aufrichtungsarbeit	XI
I ₅ u.3	Hebung begonnen	XIa
I ₆	Hebung bewirkt. I ₄ Die Seile der Flaschenzüge	XII

Reihe II. Die Pfahlböcke.

II ₁	Blick vom Nordwest-Ende	XIIa
II ₂	Blick auf die Mitte	XIIa
II ₅	Dreigliedrige Bockgruppe mit Querriegel	XIII
II ₃	Aufnahme vom Südostende des Schuppens	XIII
II ₆	Blick auf Böcke und Winden, während des Aufwindens der Avaré	XIIIa
II ₄	Mittlere Gruppe	XIIIa

Reihe III. Die Untersuchungen.

III ₃	Pfahl 2, Blick auf die Hebel und Pressen, Untersuchung B	XIV
III ₁	Pfahl 1, Anordnung zur Untersuchung A	XIV
III ₄	Pfahl 2, Untersuchung B, Blick auf die Hebel-drehpunkte (Schneiden)	XIVa
III ₅	Pfahl 2 um 85 mm gezogen	XIVa
III ₆	Untersuchung C auf Umwerfen	XV
III ₇	dazu die Pressen	XV
III ₈	Untersuchung C Fortsetzung mit Presse 3	XVa
III ₉	Untersuchung D Umdrücken des verstärkten Bockes	XVa

= = = = =

Erster Teil. Kurze Zusammenstellung der Ergebnisse.I. Der Pfahlwiderstand gegenüber achsialem Zug.

Seite

Untersuchung A des Pfahles 1 auf achsialen Zug 14-15

Meistbetrag des gemessenen Widerstandes - 37,8 t
 Hebung des Pfahles 22 mm.

Untersuchung B des Pfahles 2 auf achsialen Zug , 15

Meistbetrag des gemessenen Widerstandes - 33,1 t
 Hebung des Pfahles 83,5 mm;
 siehe Verzeichnis der Schreibfehler
 und Ergänzungen Bl.XVI der Anlage, zu S.15

Mittelwert aus den Untersuchungen A und BWiderstand gegen achsialen Zug rund $W' = 35 \text{ t}$ 16Oberflächen-Einheitswiderstand k' gegen achsialen Zug

$$k' = \frac{W'}{O} = \frac{35\,000 \text{ kg}}{95\,000 \text{ qcm}} = \overset{-2}{0,37 \text{ kgcm}} \text{ } 17$$

Andere Angaben.

Grundriß des Wasserbaues, Band I, S.67
 für Sand mit etwas Ton $k' = 0,4 \text{ kg cm}^{-2}$ 17

Messung Rudloff Bremerhaven für Klei-
 boden $k' = 0,18 \text{ "}$ 17

Messung der Firma Fr.Holst auf dem
 Gelände der Reiherstiegsschiffswerft
 im Jahre 1912 $k' = 0,30 \text{ "}$ 17

II. Der Bockwiderstand gegenüber horizontalem Angriff.Untersuchung C.

Der Meistwert des Horizontalwiderstandes ist zu
 $W_h = 50 \text{ t}$

gefunden, dabei hat der Bock aber schon eine Horizontalbewegung von $x = 146 \text{ mm}$ und der Zugpfahl eine Hebung von $85,5 \text{ mm}$ erlitten. 19-20

Obiger ganze Widerstand setzt sich zusammen aus dem eigentlichen Bockwiderstand, welcher sich ergibt, wenn der Bock, aus dem Erdboden hoch hervorragend, ganz frei steht, sodaß sein Horizontalwiderstand allein aus den Pfahlachsialkräften hervorgeht, genannt K_h , und aus dem passiven Erddruck des Bodens, welcher hier durch die bis zum Kopf im Boden steckenden Pfähle bei deren horizontalem Ausweichen entsteht, genannt K_p .

Unter Zugrundelegung eines Widerstandes des Zugpfahles gegenüber achsialem Zug von $W' = 35$ t ermittelt sich rechnerisch $K_h = 22,6$ t, siehe

21

sowie Blatt VII des Anhanges, Abb.1.

Aus dem Unterschiede zwischen dem ganzen Pfahlbockwiderstande W_h und K_h ermittelt sich:

$$K_p = W_h - K_h = 50 - 22,6 = 27,4 \text{ t}$$

22

Beanspruchung der Pfahlböcke bei Aufrichtung der Avaré.

Aus der gemessenen Verschiebung einzelner Pfahlböcke, welche während deren Benutzung bei Aufrichtung des Schiffes eingetreten ist, läßt sich schlußfolgern, daß der einzelne Bock etwa bis zu $W_h = 30,4$ t Horizontalwiderstand dem Zuge der Trossen entgegengesetzt hat.

23

Untersuchung D an dem durch eine vordere Strebe S verstärkten Bock ausgeführt.

Der Horizontalwiderstand ist zu etwa

$$W'_h = 81,6 \text{ t}$$

25

ermittelt (siehe darüber die Bemerkung zu S.25, im Anhang Bl.XVI).

Neuer Bockentwurf (Abb.11 und 12, Bl.X).

Der Horizontalwiderstand ist zu etwa

$$W_h = 70 \text{ t}$$

oder etwas weniger abgeleitet.

25

III. Die Beanspruchung der Druckpfähle.

Die Beanspruchung des Druckpfahles des Pfahlbockes auf achsialen Druck hat bei Aufrichtung der Avaré etwa bis zu $D = 24$ t betragen;

22

dasselbe bei Versuch C unter Anwendung einer schräge nach oben gerichteten, angreifenden Kraft etwa nur $D = 16$ t.

22

Nach dem Ergebnis des Rammprotokolles lag die obere Grenze der Tragfähigkeit des Druckpfahles etwa bei $W_d = 47,5$ t.

11

IV. Die Sicherheit der Bock-Konstruktion.

Gegenüber dem nach der Auftragbedingung zu gewährenden Pfahlbock-Widerstande gegenüber horizontalem Zug von 20 t haben die Böcke etwa

$$n = \frac{50}{20} = 2,5\text{fache}$$

Sicherheit erreicht.

M. Möller.

23

Untersuchung zweier Pfähle auf achsialen Zug
und eines Pfahlbockes auf Umwerfen,

gefördert durch die Bauunternehmung Fr. Holst, Hamburg und
Herrn Ingenieur Butzer, Dortmund,

ausgeführt im Anschluß an die Hebung des im Hamburger Hafen
gesunkenen brasilianischen Dampfers, der "Avaré",

von Professor Dr. Ing. Max Möller, Braunschweig.

= = = = =

1) Anregung und Entschließung zur Durchführung der Versuche
und Förderung derselben.

Die Bedeutung der praktisch-wissenschaftlichen Untersuchung im Bauingenieurwesen ist allgemein anerkannt, ihre Durchführung am wirklichen Baukörper in größerem Maßstabe vorgenommen, setzt aber die Ueberwindung mancherlei Schwierigkeiten voraus. Hier ist die Arbeitsstätte nicht das mit den erforderlichen Versuchseinrichtungen ausgestattete Laboratorium, sondern meist eine Arbeitsstätte, entfernt vom Wohnort gelegen, und es setzt die Entschließung zur Unternehmung der Forschung dann Unternehmersinn und ein schnelles Zugreifen voraus. Die geeignete Gelegenheit für Ausführung der Untersuchung bietet sich gewöhnlich plötzlich und die für sie verfügbare Zeit ist meist beschränkt. Die Arbeit selbst ist auf fremdem Grund und Boden zu leisten, die Hilfsmittel, von denen man zunächst nicht weiß, woher man sie nimmt, müssen beschafft, die Erlaubnis erbeten werden, und dazu kommt noch die Frage: "Wer trägt die Kosten?" Im Betriebe einer größeren Verwaltung ordnen sich die Verhältnisse viel zu langsam, um Gelegenheiten zur Ausführung einer größeren Untersuchung auswerthen zu können. Daher tragen solche Unternehmungen meist privaten Charakter und kommen bei uns mithin auch leider nur selten zustande.

Die Anregung zur Ausführung dieser Untersuchung wurde mir von Herrn Ingenieur Heinrich Butzer, Dortmund, gelegentlich einer Studienreise in Hamburg zuteil, welche eine sehr gefällige Unterstützung von Seiten des Herrn Baurat Dr. Jng. Ehlers fand. Da sahen wir uns am 25. Juli auch diese Pfahlböcke an, welche im Schuppen 76a am Mönckebergkai geschlagen worden waren, um bei Aufrichtung der "Avaré" zum Halt der Trossen als Festpunkte zu dienen. Die Herren meinten, es sei von Wert, deren tatsächlichen Widerstand gegen Umwerfen durch horizontalen Zug zu messen. Es würde sich nicht so leicht die Gelegenheit bieten, eine solche Untersuchung an neu geschlagenen Pfählen ausführen zu können. Nur in diesem Falle vorübergehender Verwendung könne das geschehen. Es sei dann aber Eile geboten, denn die Aufrichtung des Schiffes solle nach 20 Tagen erfolgen, und die Untersuchung müsse sich sofort anschließen, denn die Hamburg-Amerika-P.A.G. werde den Schuppen unmittelbar darauf wieder für ihre Zwecke in Benutzung nehmen.

Hernach besprachen Herr Ingenieur Butzer und ich noch Art und Möglichkeit der Untersuchung. Wir erwogen, daß die erforderliche Kraft hier leichter durch hydraulische Pressen als durch die Verwendung großer Hebel zu gewinnen sei. Letzteres Mittel, durch örtliche Verhältnisse als zweckmäßig bedingt, war bei Untersuchungen von Eisenbetonpfählen sowohl auf Druck wie auf Zug seitens der Zweigniederlassung der Firma Heinrich Butzer in Rotterdam von ihr bei Ausführung der Kaimauer am Hochofenwerk in Ymuiden, Holland, verwendet. Mir war damals, im Herbst 1921, Gelegenheit gegeben, jenen Untersuchungen beizuwohnen.

Herr Ingenieur Butzer erbot sich inbezug auf die neu geplanten Versuche zur Tragung eines Teiles der entstehenden Kosten; letztere stellten sich hernach als nicht gering heraus. Schon die mehrfach entstehenden Reisen und der Aufenthalt in Hamburg, welcher für meinen damals gerade neu eingetretenen Hochschulassistenten, Herrn Dipl. Jng. Sesterhenn, 20, und für mich 13 Tage umfaßte, fielen ins Gewicht.

Ich suchte die Firma Fr. Holst, Bauunternehmung in Hamburg, auf, durch welche die Pfahlböcke hergestellt worden waren. Deren Inhaber, Herr Detlef Holst, stand im Begriff, eine Reise zu unternehmen und hatte nur noch 10 Minuten Zeit zu einer Besprechung. Mein Anliegen brachte ich vor und wollte mitteilen, daß ich schon früher auf dem Gebiete wissenschaftlicher Untersuchung

gearbeitet hätte. "Oh", sagte er, das weiß ich ja aus Ihrem Buch "Grundriß des Wasserbaues", welches hier auf dem Bücherbört steht. Ich bin mit allem einverstanden; Sie erhalten von meiner Firma kostenlose Unterstützung, wenden Sie sich in der Folge an diese." Das bereitwilligste Entgegenkommen fand ich von der Firma Holst auch ferner. Nun reiste ich nach Braunschweig zurück und entwarf auf der Fahrt nach der am Schuppen aufgenommenen Skizze die Versuchsvorrichtungen. Diese sind dann in den folgenden Tagen von einem meiner bisherigen Studierenden, Herrn Jenner, der am Tage zuvor seine Diplom-Hauptprüfung abgelegt hatte, genauer aufgetragen und nach meinen Angaben berechnet.

Am 8. August reiste ich mit Herrn Dipl. Jng. Sesterhenn nach Hamburg. Das geeignete Material für die Versuchsvorkehrungen suchten wir uns auf den Lagerplätzen der Firma Holst aus. Nach den genaueren Aufmessungen am Ort gab es manches neu zu konstruieren. Nach kurzer Abwesenheit von Hamburg fand ich die Vorbereitungen, soweit das auf dem Werk- und Lagerplatz der Firma geschehen konnte, gut vorgeschritten und wohnte nun der Aufrichtung der "Avaré" bei. Vor- und nachher machte ich Messungen an der Stellung der Pfahlböcke, um die bei dem Gebrauch bleibenden Veränderungen feststellen zu können; siehe Bl. VIII. Schwierigkeiten hatte zunächst die Beschaffung geeigneter hydraulischer Pressen und einwandfreier Manometer. Mir verhalfen aber die Hamburger Direktion für Strom- und Hafenbau und die Reiherstieg-Schiffswerft, letztere durch Vermittelung der Firma Holst, bereitwilligst zu den erforderlichen Pressen, während die Manometerbauanstalt C.D.Gäbler,¹⁾ Hamburg, mir drei neue Hochdruckmano-

1) Schon einmal, und zwar vor 36 Jahren, hatte ich die Gefälligkeit der Firma C.D.Gäbler in Anspruch genommen. Damals galt es, die Manometer zu prüfen, welche ich für meine Preis-

meter kostenfrei zur Verfügung stellte. Ihre Eichung erfolgte in meiner Gegenwart nach einem von dem Pyrotechnischen Institut in Berlin-Charlottenburg bezogenen Normalmanometer, nachdem deren Skalenteilung für meine Zwecke erst besonders ausgeführt worden war. Dem Inhaber der Firma, Herrn Ernst Bartky, und Herrn Werkvorsteher Schröder, bin ich für deren bereitwilligstes Entgegenkommen zu besonderem Danke verpflichtet, umsomehr, als ich mein Anliegen erst Tags zuvor angebracht hatte, nachdem nämlich das Bedürfnis für neue Manometer hervorgetreten war.

Auch von Seiten der Bugsier-, Reederei- und Bergungs-Aktiengesellschaft, vermittelt durch Herrn Inspektor Berendt, wurde mein Unternehmen durch schnelle Freigabe der Arbeitsstätte in bereitwilligster Weise unterstützt.

Es sei hier noch der tatkräftigen Mitwirkung des Poliers der Firma Holst, Herrn Cohrs, und der Hilfeleistung des Herrn Friedrich Holst gedacht, welcher als gelernter Zimmerer, nun in den Ferien praktisch beschäftigt, unsichtig zugriff. Seitens der Firma waren außer für die kleineren Arbeiten, am Werkplatze ausgeführt, an 6 Tagen meist noch 3 Zimmerer und 1 Arbeiter bei den Versuchen tätig.

Wesentlich erleichtert wurde mir die Arbeit durch die sachlich umsichtige Mitwirkung von Herrn Dipl.Jng. Sesterhenn.

Seitens des Herrn Oberbaudirektors Dr.Jng. Wendemuth war mir die Erlaubnis zur Vornahme der Untersuchungen bereitwillig erteilt. Auch stand mir Herr Baurat Dr.Jng. Ehlers mit freundli-

arbeit gebraucht hatte: "Ueber die Widerstandsfähigkeit auf Druck beanspruchter eiserner Baukonstruktionsteile bei erhöhter Temperatur", gemeinsam mit dem jetzt verstorbenen Eisengießereibesitzer Herrn R.Lühmann mit 42 Versuchskörpern unternommen. Das geschah damals an der alten Geschäftsstätte in der Spaldingstraße mit Hilfe eines Quecksilber-Barometers von 13 m Höhe. Siehe darüber die Veröffentlichung "Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes 1887, S.573-636 und S.701-798, insbesondere S.778. - Sonderabdrucke davon sind zu beziehen von der Verlagsbuchhandlung L.Simion Nachf., Berlin-W.57, Bülowstr.56; Preis z.Zt. M 40,00.

chem Rat zur Seite. So hat vieles glücklich zusammengewirkt, um mir in der nur beschränkt verfügbaren Zeit die Durchführung dieser Untersuchungen zu ermöglichen.

Erschwerend wirkte der Umstand, daß die Oertlichkeit der Versuchsausführung von der Wohn- und Geschäftsstadt entfernt jenseits der Elbe im Freihafengebiet lag, woselbst in der Nähe keine Hilfsmittel zu beschaffen waren. Die langen Wege, die vielfachen Dampferfahrten und das Passieren der Zollgrenze mit Wertobjekten brachten erheblichen Zeitverlust.

Aus gleicher Veranlassung brach am ersten Tage meiner Untersuchungen unter den helfenden Kräften ein Streik aus; sie forderten nach der Frühstückspause wegen der weiten Wege zur Arbeitsstelle Mehrbezahlung für zwei Stunden täglich. Eine Einigung wurde aber erzielt, und es konnte die Arbeit nach 20 Minuten Unterbrechung wieder aufgenommen werden.

2) Wiederaufrichtung der "Avaré" (hierzu die Photographien Serie I).

Der Dampfer, die "Avaré" des brasilianischen Lloyd, ist am 16. Juni im Ellerholzhafen Hamburgs unmittelbar nach Verlassen des Dockes III der Vulkanwerft gekentert. Bei diesem Unfall haben 26 Leute der Besatzung und 13 deutsche Arbeiter ihren Tod gefunden. Viele Personen, man spricht von 70 oder 80 an der Zahl, wurden gerettet. Das Einlassen des erforderlichen Wasserballastes war noch nicht beendet, als seitens der Schiffsleitung die Ausfahrt des Dampfers aus dem Dock vorschnell veranlaßt wurde. Das Wasser in den unvollständig gefüllten Ballasttanks schwankte dabei hin und her, sodaß ein Pendeln des Fahrzeugs und dessen Umfallen erfolgte.

Die Bugsier-, Reederei- und Bergungs-A.G. hat mit dem Nordischen Bergungs-Verein gemeinsam im Auftrage der Vulkanwerft

die Hebung des Schiffes ausgeführt. Die Vulkanwerft hatte den Auftrag von dem Brasilianischen Lloyd erhalten. Die Bugsier-, Reederei- und Bergungs-A.G. hat die Berechnungen, den Entwurf und die Ausführung der Hebungsvorrichtungen vorgenommen und die Vulkanwerft selbst dies nur bezüglich der 12 großen Eisenfachwerk-Hebelböcke, welche am Schiffsrumpf auf dessen in der gekippten Lage über Wasser befindlichen Breitseite aufgesetzt waren, und an deren Kopfenden hernach je zwei Trossen befestigt worden sind (vgl. Photographie I₂). Kräftige Längsträger verteilten die Kraftwirkungen dieser Hebel über den Schiffskörper. Die bei der Aufrichtung des Schiffes unter Wasser geratenden Teile der Hilfskonstruktion, welche nur Druck erhielten, wurden einfach durch Keile an den Schiffsrumpf gepreßt und so in ihrer Lage gehalten. Die auch später über Wasser verbleibenden Anschlußteile wurden mittels lösbarer Schrauben am Schiff befestigt. Zwischen dem Schiff und den Festpunkten, den im benachbarten Kaischuppen geschlagenen Haltepfählen, wurden 30 Flaschenzüge eingeschaltet, zwölf davon sind hernach durch Winden, die in einigen am Kai vertauten Fahrzeugen untergebracht waren, bedient worden. Diese Flaschenzüge schwebten über dem Hafenwasser, welches in etwa 80 m Breite das Schiff vom Ufer trennte; sie sind in Photographie I₂ zu sehen. Die anderen 30 - 8 = 22 Trossen wurden durch Flaschenzüge gespannt, welche mehr landwärts sich befanden; sie sind in Photographie I₃, I₄ und II₁, II₃, II₄ und II₆ der Anlage zu erkennen. Ihre freien Druckseile wurden durch die hinter den Pfahlböcken aufgestellten Dampfwinden bedient; siehe die Photographien II₁, II₂, II₃, II₄ und II₆. Jede der Winden äußerte an dem freien Drahtseil je eines der Flaschenzüge bei 7 Atm. Dampfspannung eine Zugkraft von 5 t und bei 9 Atm. von gut 6 t; von jenen besaßen 6 Stück 5, die anderen 24 Stück hingegen 4 Scheiben, jeweils also 10 bzw. 8 Seile außer

dem freien Seil. Es war angenommen, daß mit diesen Mitteln etwa eine Zugkraft von zusammen 1320 t ausgeübt werden konnte. Vier Bergungsfahrzeuge sind außerdem tätig gewesen, davon eines 300 t, eines 200 t und zwei je 100 t Hebekraft hatten; dazu kam noch der große Schwimmkran der Vulkanwerft mit 200 t Hubkraft. Diese haben an der "Avaré" auf der den Trossen abgewendeten, zu heben- den Seite derselben angefaßt. Die Winden erhielten ihren Dampf von bereit liegenden Schiffen durch Rohrleitungen, die in Photographie I₂ zu sehen sind, vermittelt. Von Freitag, den 11. August ab standen der Bergungsgesellschaft 8 Tage zur Verfügung und war für diese Zeit der Hafenteil für fremden Schiffsverkehr gesperrt. Es galt, die Trossen vom Schiff zum Schuppen zu legen, die "Avaré" aufzurichten und sie näher an den Kai zu bringen. Am Mittwoch, den 16. und Donnerstag, den 17. fand die Aufrichtung statt. Hernach am 22. wurden die Haltepfähle, an welchen meine Untersuchungen vorzunehmen waren, von den Trossen freigemacht. Die Einbauten der Prüfungsvorkehrungen und die Zug- sowie Druckproben selbst nahmen dann 5 Tage Zeit in Anspruch.

Die Aufrichtung des Schiffes erfolgte vormittags bei Hochwasser, um den vermehrten Auftrieb desselben auszunutzen. Dem Kai zugekehrt war längsseit des Schiffes eine Rinne von 2 m Tiefe gebaggert, um die Drehachse des Schiffes näher unter den Gewichtsschwerpunkt zu verlegen, wodurch die Verhältnisse in Bezug auf das Drehmoment wesentlich günstiger wurden. Ferner bot die Rinne der unten liegenden Kante des Schiffsbodens hernach auch einen Halt. Im anderen Falle, bei fehlender Rinne, hätte das Fahrzeug sich vielleicht nicht aufgerichtet, sondern nur eine gleitende Bewegung ausgeführt.

Am 16., früh 9,08 Uhr, erfolgte die erste Betätigung der Dampfwinden. Zwei Minuten darauf riß eine Trosse, ohne deren Ersatz nach einer Pause von 4 Minuten die Winden wieder eine Minute

hindurch arbeiteten. Das Schiff ist nun in die gebaggerte Rinne geglitten, sein breitseits zurückgelegter Weg wird auf 12 m geschätzt; es hat sich dabei etwas aufgerichtet. Durch Nebenumstände veranlaßte Hemmungen verursachten in der Folge wiederholt Pausen, zwischen welchen die Winden jeweils nur $\frac{1}{2}$ bis 2 Minuten gearbeitet haben. Um 10,55 Uhr riß abermals eine Trosse. Der Wasserstand beginnt wieder zu sinken und die Arbeit wird für diesen Tag eingestellt. Die erreichte Lage des Schiffes ist aus Photographie I₅ zu erkennen.

Am 17. früh sind die Hebevorkehrungen wieder ergänzt und es beginnen um 11,12 Uhr die Winden stetig 5 Minuten hindurch zu arbeiten. Deutlich ist die Aufrichtung des Schiffes erkennbar. Wieder drehen sich die Winden 1 Minute, dann Pause, abermals einige Minuten Arbeit, 2 Minuten Pause, 11,37 Uhr eine Minute Arbeit und Schluß. Das Oberdeck des Schiffes ist wasserfrei; siehe die fast aufgerichtete Stellung der "Avaré" Photographie I₆.

Die Dampfspannung betrug in den Arbeitspausen hinter den Winden am Zuleitungsrohr, an zwei nicht genau gleichzeitigen Manometern gemessen, am ersten Tage zunächst 7 und 7,4, später 9,8 und 9,9; am zweiten Tage $1\frac{1}{2}$ Stunden vor Arbeitsbeginn 7 und 8 Atm. Bei 7 Atm. sollten die Winden 5 t Zugkraft leisten.

Meinerseits ist nach Beendigung der Hebungsarbeit noch sogleich die bleibende Veränderung dreier Pfahlböcke gemessen worden, worüber im Abschnitt 5 berichtet wird; siehe auch Blatt VIII der Anlage.

In der Folge ließ man bei sinkendem Elbstande das Wasser aus den Schiffsöffnungen ablaufen und erleichterte den Dampfer ferner noch durch Auspumpen. Dabei galt es, einige kleinere Lecks zu dichten. Dann wurde das Fahrzeug ohne erheblichen Aufwand an Kraft an den Kai nahe herangezogen, um jenseits das Fahrwasser frei zu bekommen (siehe die Photographie I₇).

Die Unterbrechungen der Arbeit des Hebens waren durch mancherlei Umstände bedingt worden. Am ersten Tage rissen, wie schon gesagt, einige Trossen, oder es löste sich deren Befestigung; auch ein Dampfschlauch mußte ausgewechselt werden. Dann galt es, die großen, am unteren Ende mit Roheisen beschwerten Bäume, welche von den Flaschenzugblöcken herabhingen, um ein Aufdrehen der Trossenwindungen zu verhüten, zu leiten, nachdem dieselben die Kaikante erreicht hatten; siehe Photographie I₂, 3 und 4. Einzelne Bäume erreichten jene und hernach die Schuppenbordkante zu schnell, brachen unten ab und wirbelten dann wie Windmühlenflügel herum. Ferner galt es zeitweise, die freien Seile der Flaschenzüge von den Windetrommeln abzunehmen, wenn zuviel Drahtseil sich aufgewickelt hatte. Das geschah bei den Winden im Wechsel. Die keineswegs ungefährlichen Arbeiten vollzogen sich aber ohne Unfall.

3) Die Anordnung der Pfahlböcke (hierzu die Photographien, Reihe II).

Gruppe A, II, 1-5: Aufnahmen vor Beginn der Schiffshebung. Die freien Enden der Flaschenzugseile sind vorläufig um die Pfähle geschlungen und noch nicht auf die Windetrommeln gelegt.

Gruppe B, II 6: Aufnahme während der Arbeit der Winden.

Die Bugsier-, Reederei- und Bergungs-Aktiengesellschaft hatte bei der Firma Fr. Holst das Schlagen der 132 Pfähle, je 2 zu einem Bock vereinigt, in Auftrag gegeben. Jeder Bock sollte einen horizontalen Trossenzug von 20 t auszuhalten vermögen. Zu Gruppen von je 2 oder 3 Stücken wurden diese Böcke vereinigt. Das geschah bei den dreigliedrigen Gruppen durch hinter ihnen angebrachte Riegel (siehe Photographie II,5). An jeder Pfahlgruppe griffen die Stahltrossen eines Flaschenzuges an, dessen

Rollenzahl bei den Doppelböcken je 4, bei den dreifachen Böcken je 5 betrug.

Die mittlere Zugkraft in den einfachen Drahtseilen war zu 5 t angegeben, sodaß die Doppelböcke $8 \cdot 5 = 40$ t und der Einzelbock $40 : 2 = 20$ t, die dreifachen Böcke hingegen $10 \cdot 5 = 50$ t und deren Einzelböcke nur je $50 : 3 = 16,7$ t Horizontalzug bei gleichförmiger Verteilung der Zugkraft erhalten haben würden. Da der Reibungsverlust in den Flaschenzügen unbekannt blieb und die Winden auch nicht immer mit gleicher Dampfspannung (im Mittel $8\frac{1}{2}$ Atm.) arbeiteten, ist die wahre, auf den Einzelbock gelangte Zugkraft nicht genau bekannt geworden. Auch riß ja einigemal eine der Haupttrossen, sodaß dann die benachbarten Trossen und Pfahlböcke vergrößerter Angriffskraft ausgesetzt waren. Siehe dazu die Ermittlung Abschnitt 9. Erreichten die Winden, welche hinter den Böcken standen und an dem freien Ende der Flaschenzug-Seile zogen, vorübergehend Ueberbeanspruchung, dann standen dieselben plötzlich still. Die Dampfspannung reichte nicht mehr aus, sie zu treiben. Die Pfähle waren so weit landwärts von der Kaimauer geschlagen, daß diese nicht durch die auf das Erdreich übertragene Zugkraft leiden konnte. Ferner war der Ort dort gewählt, wo das Schuppendach in seinem mittleren Teil hinreichend freie Höhe bot, um die Rammen aufstellen zu können.

Das zu hebende oder vielmehr aufzurichtende Schiff lag mit seiner Längsachse nicht parallel zur Schuppenrichtung. Daher taten das auch nicht die Reihen der Pfahlböcke je einer Gruppe, da deren Richtung durch die Schiffs-lage, normal zur Erstreckung der Trossen angeordnet, bedingt war.

4) Die Bauart der Pfahlböcke und ihr Verhalten.

Wie aus der Zeichnung Abb. 1 und 2 der Anlage Blatt IX hervorgeht, bestand jeder Bock aus einem Druck- und einem Zugpfahl, welche beide miteinander in bester Weise durch kunstgerechte Verzimmerung vereinigt waren. Der Uebergang der Kraft von einem zum anderen Pfahl war damit gesichert. An der Druckfläche des Versatzes befanden sich Eisenplatten von etwa $2\frac{1}{2}$ mm Stärke fest eingefügt. Auch die Verdübelung aus Eichenholz lag ringsum stramm an. Das Aufholz des Versatzes und des Dübels oberhalb derselben im Zugpfahl war hinreichend lang bemessen, sodaß ein Abspalten des Aufholzes auch bei Ueberanstrengung des Bockes nicht eintreten konnte. Das wird oftmals nicht beachtet. In meinem Grundriß des Wasserbaues, Band I, S. 79-84, ist darauf verwiesen (siehe dort insbesondere die Abb. 75, 79, 82 und 84) =1=. Auch die Arbeit von Regierungs- und Baurat Dr. Jng. Gerecke =2= behandelt diesen Gegenstand.

Ein kräftiger Eisenring hielt die beiden Pfähle oberhalb des Dübels zusammen, und unterhalb desselben tat das ein Bolzen. Oberhalb des Versatzes wirkte ein etwas schwächerer Eisenring (110 x 10 mm) dem Bestreben einer Aufspaltung des Aufholzes entgegen.

=1= Grundriß des Wasserbaues von Max Möller, Verlag von S. Hirzel, Leipzig, z. Zt. im Buchhandel vergriffen.

=2= Karl Gerecke "Untersuchungen zu Knotenpunktsausbildungen bei Holzkonstruktionen", 88 Druckseiten, 67 Abbildungen und andere Tafeln. Dr. Jnh.-Arbeit, Technische Hochschule Braunschweig, 1908.

Die Bockverbindung war von der Firma Holst unter Leitung von Herrn Detlev Holst entworfen, und es sind deren Einzelheiten von ihrem Techniker, Herrn Behnke, konstruiert worden.

Die Böcke haben bei ihrer Verwendung der an sie gestellten Anforderung "je 20 t Horizontalzug aushalten zu können", voll entsprochen. Die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit lag, wie die Untersuchung C zeigte, etwa bei $W_H = 50$ t. Dabei war allerdings dann eine Horizontalverschiebung des Bockes um 146 mm und eine Hebung des Zugpfahles um 85,5 mm eingetreten.

Den Böcken war nach ihrer bei Aufrichtung des Schiffes erfolgten Beanspruchung äußerlich keine Veränderung anzusehen. Die Anschlußflächen am Versatz und an der Verdübelung waren unverändert geblieben. Eine genauere, an drei Pfahlböcken angestellte Messung ergab nur eine kleine bleibende Horizontalverschiebung derselben im Boden im Meistbetrage bis zu 24 mm; siehe dazu den Abschnitt 5 und Blatt VIII der Anlage.

Die vorgenommenen Untersuchungen erstreckten sich einmal auf Messung des Pfahlwiderstandes gegen achsialen Zug (Versuche A und B), - gefunden im Mittel zu $W' = 35$ t - und weiter auf Messung des Widerstandes eines Bockes gegen die Wirkung einer, ihn auf umwerfen beanspruchenden Kraft (Untersuchung C). Diese ergab, daß der einzelne Bock einer horizontal an ihn angreifenden Kraft bis zu jenem oben genannten Betrage von $W_H = 50$ t zu widerstehen fähig gewesen wäre.

Die im einzelnen erreichte Sicherheit. Selten wird für derartige Pfahlböcke gleiche Sicherheit in ihren Hauptgliedern erreicht. Meist setzt der Druckpfahl der ihm zugemuteten Last einen erheblich größeren Widerstand entgegen, während die Kopfverbindung und nächst ihr der Zugpfahl, letzterer gegen ein Herausziehen, die weitaus geringere Sicherheit bieten. Hier lagen die Verhältnisse anders. Die Kopfverbindungen (Versatz und Verdübelung) waren besonders gut entworfen und ausgeführt, an ihnen trat keine Zerstörung ein. Die Erschöpfung des Bockwiderstandes war aber durch das Nachgeben der Zugpfähle (ihr Herausziehen) gegeben, welches im Mittel bei $Z = 35$ t eintrat. Der Druckpfahl hat wie gewöhnlich zwar auch hier größere Sicherheit als der Zugpfahl geboten (ein Nachgeben desselben ist nicht bemerkt), rechnerisch fiel seine Sicherheit aber nicht wesentlich größer aus als diejenige des Zugpfahls.

Bei 35 t Zug im Zugpfahl entsteht bei horizontalem Zug am Bock im Druckpfahl 37 t Druck, während er nach der Rammformel:

$$W = \frac{3}{4} \left\{ P + \frac{h}{e} \cdot \frac{P^2}{P + Q} \right\} = 47,5 \text{ t}$$

Druck noch hätte aushalten können; siehe Grundriß des Wasserbaues I, S.176.

Das war völlig ausreichend. Ein größerer Widerstandswert hat aber nicht vorgelegen, und zwar durch den Umstand veranlaßt, daß der Untergrund aus nur mäßigem Boden bestand; siehe darüber den Abschnitt 8c.

Nach dem Rammprotokoll der Firma Fr. Holst betrug das Eindringen des Druckpfahles am untersuchten Bock bei je einem der letzten Schläge $e = 20$ mm (es wechselte bei den Pfählen dieser Wert zwischen 10 und 26 mm). Die ganze Länge des Druckpfahles betrug 9 m. Bei einem Einheitsgewicht des Holzes von $\gamma = 750$ kgm³ betrug das Pfahlgewicht $Q = 675$ kg. Das Bärgeicht ist zu $P = 1500$ kg angegeben und die Fallhöhe zu 1200 mm. Das in die obige Formel eingesetzt, gibt den vorstehend benannten Wert $W = 47,5$ t.

Der Beiwert $\frac{3}{4}$ ist aus einem andernorts von mir ausgeführten Versuch entnommen, ohne ihn ergibt die Formel zu große Beträge, während man nach der Formel von Brix:

$$W = \frac{h}{e} \left(\frac{P}{P + Q} \right)^2 Q$$

zu kleine Werte findet, hier z.B. nur $W = 19,3$ t. Diese Formel ist für die Verhältnisse der Gegenwart infolge des Ueberganges zu größeren Bärgeichten nicht mehr verwendbar.

Eine Prüfung der Druckpfähle auf ihren Druckwiderstand ist nicht erfolgt. Bei der Messung des Bockwiderstandes gegen Umwerfen (Untersuchung C) hat der Druckpfahl zudem auch nur eine mäßige Beanspruchung erlitten; sie fiel dabei kleiner aus, wie wenn der Bock durch einen horizontalen Zug beansprucht gewesen wäre. Im Meistbetrage hat sie am Schluß der Untersuchung C bei $K = 48,4$ t Druckkraft der Presse und 35 t Zugwiderstand des Zugpfahles unter Mitwirkung des auf die beiden Pfähle wirkenden passiven Erddruckes K_p nur etwa 16 t betragen; siehe dazu die graphische Ableitung auf Blatt VII, Abb.1 des Anhanges und zwar dort die punktierten Linien sowie Abschnitt 8,1.

Auf den Zugwiderstand scheint die Größe des Eindringens der Pfähle bei je einem der letzten Schläge keinen so großen Einfluß auszuüben, wie dies bei den Druckpfählen der Fall ist.

Untersuchung A ergab für einen Pfahldurchmesser im oberen Teile 37 cm und $e = 25$ mm einen Zugwiderstand:

$$W' = 37,8 \text{ t.}$$

Untersuchung B hingegen bei 42 cm Durchmesser und $e = 12$ mm (also kaum halb so groß)

$$W' = 33,1 \text{ t.}$$

Man hätte das Gegenteil erwarten können, im Fall A den Eintritt des kleineren und im Fall B des größeren Widerstandes.

5) Die bleibende Veränderung der Pfahlbock-Stellungen, entstanden bei deren Benutzung. (Siehe Blatt VIII der Anlage)

Vor Beginn der Schiffshebung sind von mir an den Zugpfählen dreier Pfahlböcke seitlich die Mittellinien mit einer als Dreieck hergerichteten Holzschablone gezogen, deren Fußplatte in bestimmter Höhe auf eingeschlagene Pflöcke gesetzt und horizontal gelagert war. Durch Richtscheite sind dann Höhe und Entfernung auf starke eiserne, in gesicherter Stellung hinter den Winden eingeschlagene Bolzen bezogen worden. Nach Aufrichtung der "Avaré" ist hernach dieselbe Schablone wieder verwendet, um die Stellungsveränderung der Pfahlböcke zu bestimmen.

Meßergebnisse. (Siehe Blatt VIII der Anlage)

Meßbock 1. Der Zugpfahl hatte sich $11\frac{1}{2}$ mm in Richtung des Trossenzuges wasserwärts bewegt, um $4\frac{1}{2}$ mm gehoben und etwas verbogen (s. Abb. 6).

Meßbock 2. Der Zugpfahl zeigte nur $1\frac{1}{2}$ mm Verschiebung und keine meßbare Höhenänderung (s. Abb. 7).

Meßbock 3. Der Zugpfahl wies $24,5$ mm Verschiebung, aber keine meßbare Höhenänderung auf (s. Abb. 8).

Bei eintretender Horizontalbewegung will der Druckpfahl infolge seiner Drehung sich am Kopf heben, während der Zugpfahl dort Bewegung abwärts erstrebt. Auch das Zusammenpressen des Holzmaterials im Druckpfahl wirkt abwärts, eine Dehnung des Zugpfahles hingegen auf Bewegung des Kopfes aufwärts. Es besteht also die Möglichkeit, daß sich im ganzen bei Horizontalbewegung des Kopfes keine Höhenänderung desselben ergibt.

6) Die benutzten hydraulischen Pressen und deren Wirkungen.

Die benutzten hydraulischen Pressen hatten verschiedene

Größenabmessungen. Nr. 1 und 2 waren von der Hamburger Wasserdirektion hergeliehen und zwar von der Ellerholz-Schleusen-Werkstatt, Nr.3 hingegen von der Reiherstieg-Schiffswerft; letztere ist nur bei den Untersuchungen unter C und D verwendet.

Es besaßen:

	<u>an Kolbendurchmesser</u>	<u>an Kolbenquerschnitt</u>
Presse 1	125 mm	123 qcm
" 2	100 mm	78,5 qcm
" 3	157 mm	193,6 qcm

Presse 3 war für 100 t Druckleistung gebaut. Der Kolbenhub betrug 280 mm. Es sind zu erkennen: Die Pressen 1 und 2 auf den Photographien III₁, 2, 3, 6 und 7, Presse 3 auf Photographie III₃; auf letzterer ist links von der Personengruppe die hier von der Presse getrennte Pumpe vorhanden, von der eine kupferne Druckleitung zur Presse führt.

Unter Wirkung des erlittenen Druckes gaben die Holzunterlagen und der Erdboden erheblich nach, sodaß wiederholt Zwischenstücke eingefügt werden mußten. Siehe z.B. die Einpressung in das Holzstück der Abbildung auf Seite VI der Anlage. Das Nachgeben des Fundamentes betrug bei diesem Versuch D etwa 20 cm.

Leistung der Pressen in Tonnen

ohne Abzug von Manschettenreibung (siehe dazu Nachstehendes).

<u>Manometerablesung in Atmosphären</u>	<u>Presse 1</u>	<u>Presse 2</u>	<u>Presse 3</u>
1	0,123	0,0785	0,1936
2	0,246	0,1570	0,3872
3	0,369	0,2355	0,5808
4	0,492	0,3140	0,7744
5	0,615	0,3925	0,9680
6	0,738	0,4710	1,1616
7	0,861	0,5495	1,3552
8	0,984	0,6280	1,5488
9	1,107	0,7065	1,7424

Bei dem Ausziehen der Pfähle schnellte das Manometer bei Bedienung der Pressen ruckweise empor, um gleich darauf in etwas niedriger Lage zu verharren. Der zuerst etwas höhere Druck war bedingt durch Ueberwindung von Manschettenreibung und durch Trägheitswiderstände, zum Teil auch nur scheinbar vorhanden, da der Manometerzeiger etwas über die Gleichgewichtslage hinaus pendelte. Ging der Meistausschlag bis 70 Atm., während das Manometer sofort darauf nur 60 anzeigte, dann ist letztere Zahl gebucht. Bei der Untersuchung B bedienten die Arbeiter den Pumpenhebel schon vorsichtiger. Schnellte da der Manometerzeiger auf 70 hinauf, dann fiel er nur auf 65 zurück. Bei den Untersuchungen C und D fielen die Zuckungen noch geringer aus. Die Ursache lag darin, daß hier quer zu den Pfählen des Bockes gedrückt wurde und diese daher federnd nachgaben. Bei der großen Presse 3 fielen die Zuckungen des Manometerzeigers fast ganz fort.

7) Die Anordnung der Versuchsvorkehrungen und ihre Stärkeabmessungen (Blatt IX und X der Anlage).

Unbequem wirkte der Umstand, daß die Pfahlböcke der einzelnen Gruppe recht nahe an einander standen, und daß der schon vorhandene Pfahlausschnitt der Versatzung (siehe Abb.1), welcher jeweils zur Anbringung der Querträger I benutzt wurde, in

einer für die Ausbildung der Versuchs-Hilfsmittel ungünstigen Richtung lag. Zu jener symmetrisch wurde ein zweiter Ausschnitt angebracht (Abb.3 u.5). In beide fassen die eisernen Träger I (siehe auch Photographie III₁ und III₄). Ueber die Einzelheiten siehe den Abschnitt 8 und das beigelegte Zeichnungsblatt IX und X der Anlage.

Da die Zugpfähle in Neigung 4:1 standen und achsialen Zug erhalten sollten, mußte der Aufbau der Versuchsanordnung dieser Neigung entsprechend erfolgen.

Bei Bemessung der Baugliedstärken der Versuchsvorkehrung ist davon ausgegangen, daß die Zugpfähle etwa bis zu 30 t achsialen Zug würden aushalten können. Vorsichtshalber ist dieser Schätzung gegenüber aber ein doppelt so großer Zugwiderstand, also 60 t, den Berechnungen zu Grunde gelegt, und es sind die Materialabmessungen dann derart gewählt, daß bei letzterer Widerstandsgröße keine Ueberschreitung der erlaubten Spannungen eintreten würde. Im übrigen sind die Abmessungen der einzelnen Stücke meist noch stärker ausgefallen, als deren Berechnung ergab, da sie vom Lager der Firma Holst entnommen sind und sich dort in passenden Längen vorfinden.

Die verwendeten Differdinger Träger II (Abb.3-6) waren am Ort schon vorhanden; sie hatten bei Aufrichtung des Schiffes als Querriegel bei den aus drei Böcken bestehenden Pfahlgruppen gedient; siehe dazu Abb.1 und 2 Blatt IX, sowie Photographie II₅.

8) Die an den vorhandenen Böcken ausgeführten Untersuchungen.

a. Untersuchung A: Prüfung eines Pfahles 1 auf achsialen Zug (siehe Photographie III₁ und Zusammenstellung 1, Blatt I, wie Abb. 3 und 4, Blatt IX der Anlage).

Zunächst wurde der Druckpfahl durch Abnahme des großen Eisenringes und durch Entfernung des Dübels sowie des Bolzens vom Zugpfahl getrennt (siehe Abb.1, Blatt IX der Anlage und Photographie III₅). Alsdann ist symmetrisch zu dem dort mit a bezeichneten Versatzungsausschnitt auf der gegenüber liegenden hinteren Pfahlseite ein weiterer Ausschnitt angebracht, gegen welche beiden so gebildeten Ansatzflächen sich nun die kleinen Träger I (Abb.III₁), nach aufwärts wirkend, legten. Darunter folgten die Differdinger Träger II₅ (Photographie II und Abbildung 3 wie 4 Blatt IX der Anlage).

Um eine Bearbeitung der verwendeten Eisen (Bohrungen usw.) zu vermeiden, erfolgte die Vereinigung der Träger I mit dem Pfahl durch Futterstücke aus Holz, durch deren über die Eisenträger hinausragende Enden eiserne Bolzen gezogen wurden (siehe Abb. 3 und 4, Blatt IX und Photographie III₁); dort ist vom Träger I nur der obere Flansch zu sehen. Auch die kurzen Hilsträger I_a bei Versuch B haben solche Holzfutter erhalten (Photographie III₂ und Abb.5 wie 6 Blatt IX der Anlage.).

Unter den 4 Endpunkten der zwei Träger II sollten die 4 kleinen Pressen wirken. Aber eine der 4 Pressen versagte und der gezogene Pfahl neigte sich um 27 mm zur Seite dem Nebpfahle zu. Hernach wurden die Pressen 3 und 4 festgestellt und ihre Köpfe als Hebelauflagerpunkte benutzt, während nur an den Pressen 1 und 2 die Ablesung stattfand. Eine Aufnahme (III₁) dieser Versuchsvorrichtung läßt die Stellung der Pressen kaum erkennen; sie standen zu sehr im Dunkel.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung A sind weniger genau ausgefallen als diejenigen der Untersuchung B, bei welcher an

den geeigneten Orten Kipplager Verwendung gefunden haben und von vorne herein nur die Benutzung zweier Pressen vorgesehen war. Hier lag die Länge der wirksamen Hebelarme genau fest, was bei der Untersuchung A nicht so klar der Fall war.

Gehoben hatte sich der Pfahl unter Wirkung der an ihm ausgeübten Zugkraft von 24,2 t zunächst nur um 2½ mm und 1 Stunde später um 5 mm, bei 31 t um 8,5 mm und bei 37,8 t um 22 mm.

Zuletzt trat eine Steigerung der Zugkraft von Belang bei Bedienung der Pressen nicht mehr ein. Der gemessene Zugwiderstand des Pfahles konnte als dessen Meistwert aufgefaßt werden.

In Bezug auf die Einzelheiten der Messungsergebnisse siehe die Zusammenstellung 1, Blatt I der Anlage.

b. Untersuchung B: Prüfung des Pfahles 2 auf achsialen Zug,
am 24. August 1922 ausgeführt.

(Siehe Blatt IX, Abb. 5 und 6, und die Photographien III₂₋₅ sowie Zusammenstellung 2)

Schon bei dem Entwerfen der Versuchsvorrichtungen war die Befürchtung entstanden, es könne infolge eines Nachgebens des Untergrundes die Anordnung A unter Verwendung von 4 auf den Erdboden abgestützten Pressen versagen. Es war daher auch eine zweite Anordnung B vorbereitet, bei welcher sich die als Hebel wirkenden Träger II auf die in entsprechender Tiefe abgesägten Druckpfähle der Bockgruppe unter Vermittlung von Kipplager K₂ stützen, die auf einem über die 3 Druckpfahl-Köpfe gelegten I-Träger ruhen (siehe K₂ Phot. III₄). Andererseits ist durch die Kipplager K (Phot. III₃) die Kraft der Träger II in der Pfahl-Mittelebene auf diesen abgegeben, sodaß in ihm achsialer Zug entstand.

Diese Anordnung wurde durch das Hinzutreten der kleinen Träger Ia veranlaßt, welche den aufwärts gerichteten Druck der Pressen und Hebelträger auf die Träger I leiten. Letztere sind, wie schon erwähnt, in die Versatzungsausschnitte am Pfahl vorn und hinten eingepaßt.

Gewählt war wieder der Zugpfahl (hier 2 genannt) des mittleren Bockes einer dreigliedrigen Gruppe. Siehe die Photogr. III₃ und dazu die Meßvorrichtung M zur Ablesung der Pfahlbewegungen.

Diese Anordnung B hat sich bewährt. Bei vorsichtiger Bedienung der Pumpen betrug die seitliche Verbiegung des Pfahles an dessen Kopf zum Schluß nur 24 mm und die Bewegung normal dazu in der Neigungsebene des Pfahles nur bis 11 mm und das nur zeitweise, denn sie verschwand wieder gänzlich, wenn nach einer Hubperiode die Träger II wieder in die ursprüngliche Lage gebracht wurden. Dem Wege entsprechend, um welchen sich der Pfahl schon gehoben hatte, sind dann jeweils unter das Kipplager K (Photogr. III₃) eiserne Futterstücke gelegt worden.

Die Aufnahmen III₂₋₄ sind nachmittags 4,20 Uhr gemacht (volle Oeffnung, Belichtungsdauer bei III₂ und III₃ 14 Sekund.). Bei III₄ 25 Sekunden. Aufnahme III₅ erfolgte am 28. August bei besserer Beleuchtung und kürzerer Belichtungsdauer.

c. Untersuchung zu A und B. Zusammenfassung der Ergebnisse.
Der Pfahlwiderstand gegen achsialen Zug.

Es sind 3 Abschnitte zu unterscheiden:

Abschnitt a. Der Pfahl wird in Spannung versetzt, wobei sein Material eine Ausdehnung erleidet und der Erdboden auch eine elastische Deformation erfährt. Durch nachträgliches Ent-

lasten der Pressen ist festgestellt, daß sich der Pfahl bei etwa 30 t Zug infolge Entlastung wieder um $3\frac{1}{2}$ mm senkt. Die angenäherte Berechnung ergibt, daß davon etwa 1 mm auf Verkürzung des zuvor ausgedehnten Holzmaterials und der Rest auf elastische Formänderung des Erdbodens zurückzuführen ist.

Die elastische Längenänderung des Pfahles berechnet sich bei einer Zugkraft $W' = 30$ t am Pfahlkopf, 36 cm Pfahldurchmesser, $F = 1030$ qcm Querschnitt und 8,4 m Pfahllänge wie folgt. Die Pfahl-Zugspannung, welche gegen die Pfahlspitze auf Null abnimmt, beträgt im Mittel $30:2 = 15$ t, und die Materialzugspannung

$$z = \frac{K}{F} = \frac{15\ 000}{1020} = 14,7 \text{ kgcm.}^{-2}$$

Die elastische Dehnung ermittelt sich also zu:

$$s = 1 \cdot \frac{z}{E} = 8400 \frac{14,7}{120000} = 1,0 \text{ mm.}$$

Im ersten Abschnitt der Untersuchung hat man nur, oder fast nur, mit der elastischen Art von Pfahlbewegung zu tun. Die Messungen ergaben dabei nur kleine Werte einer Hebung des Pfahlkopfes. Bei der Untersuchung A lag diese Grenze unter $Z = 24$ t Zug im Pfahl, bei Untersuchung B zwischen 20 und 26 t.

Abschnitt b. Die Zugspannung im Pfahl wird gesteigert, die Formänderungen elastischer Art nehmen zu, es beginnt nun aber allmählich außerdem eine Ueberwindung der Reibung, zwischen Pfahl und Boden. Das geschieht naturgemäß oben zuerst. Da hinzu tritt nun eine unelastische Formveränderung im Boden, ein Fließen und eine Hebung desselben, wobei der Widerstand des Pfahles gegen Zug noch steigt; er tat das im Fall A auf $z = 37,8$ t, im Fall B auf $33,1$ t. Eine genaue Uebereinstimmung der gefundenen Werte war nicht zu erwarten, da die Verhältnisse in beiden Fällen nicht die gleichen gewesen sind. Man hätte im Fall A nach der Größe des Pfahldurchmessers 37 cm (in 1 m Tiefe unter Kopf gemessen) gegenüber im Fall B, zu 42 cm ermittelt, einen kleineren Zugwiderstand erwarten müssen. Gleiches auch nach dem Rammprotokoll, denn das Ziehen bei je einem der letzten Schläge ist dort für A zu 25 mm und für B nur zu 12 mm angegeben. Das Bärge-
wicht ist dabei beidemal zu 1200 kg und die Fallhöhe zu 120 cm angegeben. Der Polier sagte aber aus, daß für die Zugpfähle tunlichst krumme und etwas knorrig Hölzer ausgesucht worden sind, sodaß ihre äußere Gestalt den Zugwiderstand wesentlich beeinflusst haben kann. Zudem hat sich, wie angegeben, der Pfahl A um 50 mm zur Seite geneigt, sodaß er etwas schräg gerichteten Zug erhielt, wodurch der Widerstand etwas gestiegen war.

Der Zugwiderstand eines Pfahles im Mittel.

Man kann als Mittelwert des axialen Zugwiderstandes für die Pfähle etwa $W' = 35$ t angeben.

Dabei hat der Pfahldurchmesser 1 m nahe dem Kopf gemessen im Mittel

$$\frac{37 + 42}{2} = \text{rund } 40 \text{ cm}$$

und die Rammtiefe unter Gelände ohne die Pfahlspitze 8,40 m betragen.

Der Oberflächen-Einheitswiderstand K' gegen Ausziehen des Holzpahles.

Die Oberfläche des im Erdboden steckenden Teiles der Pfähle ermittelt sich bei Annahme eines Pfahldurchmessers auf halber

Länge des Pfahles von $d = 40 - 4 = 36$ cm zu etwa:

$$0 = d \cdot \pi \cdot l = 36 \cdot 3,14 \cdot 840 = 95\,000 \text{ cm}^2.$$

Es wird:

$$k' = \frac{W'}{0} = \frac{35\,000 \text{ kg}}{95\,000} = 0,37 \text{ kgcm}^{-2}$$

In meinem Grundriß des Wasserbaues Band I, S.67, ist für gewöhnlichen Boden (Sand mit etwas Ton) angegeben:

$$k' = 0,4 \text{ kgcm}^{-2}.$$

Ebendasselbst findet sich die Angabe nach Messungen von Rudloff für Pfähle in weichem Klauboden (Bremerhaven) gerammt:

$$k' = 0,18 \text{ kgcm}^{-2}.$$

Der Beiwert k' wird naturgemäß auch von der Pfahlstärke und Pfahllänge abhängig sein, da bei dem Einrammen eines starken Pfahles der Boden mehr zusammengepreßt wird und der längere Pfahl festere Bodenschichten erreicht, als das bei einem schwächeren und kürzeren Pfahl der Fall ist.

Vor zehn Jahren hatte die Firma Fr. Holst Veranlassung, den Pfahlwiderstand auf achsialen Zug am Bauort einer Maschinenbauhalle der Reiherstieg-Schiffswerft in Hamburg zu messen (siehe die Zeichnung der Bauhalle vom 10.2.1912 Nr.316135 der Werft). Der Rammpfahl zeigte nach Angabe der Firma Fr.Holst quadratischen Querschnitt 28×28 cm und steckte 6 m im Boden. Die Messung wurde vorgenommen mit Oeldruckpressen der Werft im Zeitraum von 2 Stunden. Der Pfahl leistete $W' = 20$ t Zugwiderstand. Es fand sich:

$$k' = \frac{W'}{0} = \frac{20000 \text{ kg}}{4 \cdot 28 \cdot 600} = 0,296 \text{ rund } 0,3 \text{ kgcm}^{-2}.$$

Die Bodenart wird derjenigen am Ort meiner Versuche entsprechen haben. In der Tiefe Sand, darüber Alluvium, früheres Wiesengelände unter Elbhochwasserspiegel gelegen und darüber vor Jahrzehnten Sandschüttung, im Schuppen 76a etwa bis 1,6 m über HHW, am Bauort auf der Reiherstiegwerft vielleicht nicht ganz so hoch reichend.

Die Boden-Untersuchungen,

an der Reiherstieg-Schiffswerft ausgeführt.

Schichtstärken:

Von Gel.Oberfl. ± 0 bis-			aufgeschütteter Boden	
von	- 1	" - 3,6	gelber Sand	1,0 m
"	- 3,6	" - 5,8	grauer Klauboden mit etwas Moor	2,6 m
"	- 5,8	" - 7,6	Klai mit etwas Sand	2,2 m
"	- 7,6	" - 8,7	Sand mit etwas Klai	1,8 m
"	- 8,7	" - 9,5	toniger Sand	1,1 m
"	- 9,5	" - 10,9	feiner grauer Sand	0,8 m
"	- 10,9	" - 11,7	gelber Sand	1,4 m
"	- 11,7	" - 14,6	grauer feiner Sand	0,8 m
				2,90 m

Der auf der Werft gezogene Pfahl saß also bis - 3,6 m in geschüttetem Boden und in Sand mit dem unteren 2,4 m langen Teil ferner in grauem Klauboden mit etwas Moor. Es ist anzunehmen,

daß die Zugpfähle am Schuppen 76a, welche schräg in Neigung 4:1 eine Länge von 8,40 m besaßen und in der Lotrechten 8,10 m Tiefe unter Schuppenboden Höhe erreichten, unten nur bis in die Schicht Klai mit Sand hinab gereicht haben mögen; auch sie dürften die unteren reinen Sandschichten nicht erreicht haben.

d. Untersuchung C: Prüfung eines der vorhandenen Bocke auf Umwerfen. (Siehe Photographien III₆-8 und Zusammenstellung 3)

Aufnahmen vom 25. August (Blatt X, Abb. 7 und 8):

Photogr. III₆ (volle Oeffnung, 22 Sekunden Belichtung, um 5 Uhr aufgenommen) zeigt ein in Neigung 1:2 hinter dem Bock angebrachtes Druckholz D, welches unten durch die Pressen 1 und 2 in Spannung versetzt wurde und mittels kleiner Versatzausbildung sich oben gegen den Schrägpfehl von hinten stemmt.

Photogr. III₇ (volle Oeffnung, 15 Sekunden Belichtung, 4,15 Uhr aufgenommen) zeigt die Anordnung der Pressen im Fußpunkt des Druckholzes D. Seitlich der Pressen sind Topfschrauben eingefügt, welche der Versuchsvorkehrung vorübergehenden Halt boten, wenn die Pumpen neu gerichtet wie unterpallt werden mußten; sie waren dann noch voraufgegangener Entspannung vorübergehend durch die Topfschrauben ersetzt.

Siehe zu diesem Versuch die Photogr. III₈ (am 26. August 1½ Uhr aufgenommen, volle Oeffnung, 5 Sekunden Belichtung). Am Fußpunkt der Druckstrebe ist dort die größere, von der Reiherstieg-Schiffswerft entlehnte Presse 3 zu sehen, welche nun an Stelle der zuvor benutzten schwächeren Pressen 1 und 2 eingebaut worden war. Die Pumpe der Presse steht oben links von der Personengruppe.

Es galt, durch diesen Versuch C festzustellen, einen wie großen Widerstand gegen Umwerfen die Bocke im Meistbetrage zu leisten imstande sind. Eine angreifende Horizontalkraft, wie der Trossenzug eine solche bildet, ließ sich allerdings nicht erzeugen. Zu ihrer Hervorrufung fehlte das feste Widerlager. Der Rückdruck der Pressen konnte nur im Erdboden seine Gegenkraft finden, und das auch nur dann, wenn das Druckholz D geneigt (Neigung 1:2) eingebaut wurde. Nur so fiel der passive Erddruck hinreichend groß aus.

Aus der Messung des Bockwiderstandes gegenüber jener Schrägkraft K (Richtung 1:2) läßt sich auch die Horizontalkraft K_h desjenigen Trossenzuges ermitteln, dem der Bock im Meistbetrage hätte widerstehen können; sie ergibt sich nachstehend im Abschnitt "Zustand b" zu rund 50 t. Im Abschnitt f ist ferner der theoretische Bockwiderstand für einen völlig frei stehenden, aus dem Erdboden hoch hervorragenden Bock ermittelt. In Wirklichkeit steckte der Bock aber bis zu seiner Kopfverbindung im Boden. Daher trat nach Lockerung des Zugpfahles bei dessen beginnender Hebung und seiner dadurch bedingten Horizontalverschiebung ein passiver Erddruck hinzu, welcher den Bockwiderstand vermehrt hat und dessen Größenbetrag im nachstehenden Abschnitt "Zustand b" ermittelt ist.

Drei Zustände sind zu unterscheiden:

Zustand a: Allmähliche Beanspruchung des Bockes etwa bis zur oberen Grenze elastischer Deformationen von Holz und Erdboden. 25. August 2 Uhr nachmittags. - Der Kopf des Zugpfahles hat sich zuletzt um 2 mm gehoben. Die Horizontalverschiebung beträgt dabei $x = 3,5$ mm und die Kraft, im Druckholz gemessen, $K = 14,7$ t (siehe Zusammenstellung 3, Bl. 3-5).

Nach Abb.1 Blatt VII ermittelt sich hier in Untersuchung C die in vorstehendem Fall auftretende achsiale Zugkraft im Zugpfahl zu

$$Z = K \cdot \frac{106}{63} = 14,7 \cdot 1,68 = 24,7 \text{ t.}$$

Auch unmittelbar aus dem praktischen Versuch (Untersuchung A und B) fand sich diese Grenze des Zustandes a bei $K = 24 \text{ t}$, sodaß da eine Uebereinstimmung der Untersuchungsergebnisse von C mit denen von A und B besteht.

Zustand b.

Steigerung der angreifenden Druckkraft auf den Größtbetrag des Widerstandes W' des Zugpfahles bei achsialem Zug. Hier tritt der Vergleich mit den Untersuchungen A und B darum nicht klar hervor, weil bei C mit dem Herausheben des Zugpfahles auch eine erhebliche Horizontalbewegung des Bockes verbunden ist, sodaß der Widerstand des passiven Erddruckes gegen Verschiebung der Pfähle hinzutritt, wodurch eine Steigerung des Gesamtwiderstandes, welcher gemessen ist, bedingt war. Durch rechnerische Ermittlung des reinen Bockwiderstandes aus den Versuchen A und B und den Abzug desselben vom gemessenen Gesamtwiderstand kann man hernach angenähert die Größe des durch den passiven Erddruck bedingten Teilwiderstandes ermitteln. Das ist hier geschehen. Das Rechnungsverfahren ist aber nicht genau, da mit der Horizontalbewegung und der Verbiegung des Zugpfahles auch dessen achsialer Zugwiderstand wächst, was hier, da nicht bestimmbar, unberücksichtigt blieb.

Die Ermittlungen stellen sich wie folgt:

Nachdem der Zugpfahl bei Versuch B sich um $5\frac{1}{2} \text{ mm}$ gehoben hatte, wächst sein achsialer Widerstand nicht mehr erheblich (siehe Nr.6 der Zusammenstellung 2; er mißt da $29,4 \text{ t}$).

Bei $Z = 29,4 \text{ t}$ achsialem Zug im Zugpfahl beträgt der reine Bockwiderstand nach Abb.1 Bl.VII:

$$(K) = Z \cdot 0,594 = 29,4 \cdot 0,594 = 17,5 \text{ t.}$$

Gemessen ist bei dieser Pfahlhebung im Versuch C, siehe Zusammenstellung 3, am 25.August um 2,58 Uhr nachmittags.

$$K = 28,3 \text{ t.}$$

Mithin liegt ein Mehrbetrag von $K - (K) = 28,3 - 17,5 = 10,8 \text{ t}$ vor, welcher in der Folge K_p genannt werden soll, da er durch das Hinzutreten des passiven Erddruckes bedingt ist.

$$K_p = 10,8 \text{ t}$$

bei Messung Nr.6 Zusammenstellung 3.

Bei Abschluß dieser Untersuchung C findet sich, sofern Z gleich dem mittleren gefundenen Grenzwert $W' = 35 \text{ t}$ (siehe den Abschnitt: "zu A und B") gesetzt wird:

$$(K) = Z \cdot 0,594 = 35 \cdot 0,594 = 20,8 \text{ t (theoretischer oder reiner Bockwiderstand),}$$

$$K = 48,4 \text{ t gemessener Bockwiderstand, und}$$

$$K_p = K - (K) = 48,4 - 20,8 = 27,6 \text{ t an passivem Erddruck.}$$

Der Bock zeigte nun eine Hebung von $85,5 \text{ mm}$ und eine Horizontalverschiebung $x = 146 \text{ mm}$. Durch letztere ist die Vermehrung des Bockwiderstandes um den Teilbetrag K_p , d.h. durch passiven Erddruck, herbeigeführt gewesen, allerdings gesteigert durch eine Vermehrung des Pfahlzugwiderstandes infolge nun durch die Verschiebung des Bockkopfes nicht mehr rein achsiale Beanspruchung des Zugpfahles.

Auf der beiden Pfählen, Zug- wie Druckpfahl, abgewendeten Seite hatte sich zwischen Erdboden und Pfahl eine Höhlung von der Breite der Pfähle, oben 15 cm , in 90 cm Tiefe, etwa 4 cm

klaffend, gebildet.

Die Widerstandsfähigkeit des Bockes konnte als erschöpft gelten, er krachte schon wiederholt. Am Fußpunkt entstand der Riß R (Zusammenstellung 3, Blatt III). Die Untersuchung wird abgebrochen, da der Bock nach Anbringung einer Schrägstrebe als Verstärkung noch für eine weitere Prüfung, siehe hier D, benutzt werden sollte.

Ermittelter Bockwiderstand gegenüber horizontalem Zug.

Einen Zugwiderstand $W' = 35$ t im axial gezogenen Pfahl vorausgesetzt, erweist die theoretische Ermittlung Abb.1, Blatt VII, daß sich als reiner oder theoretischer Bockwiderstand dann $(K) = 20,8$ t für die in Neigung 1:2 schräge angreifende Druckkraft ergibt, hingegen 22 t bei horizontaler Richtung der angreifenden Kraft; in letzterem Fall also ein Mehrbetrag von

$$\Delta K = 22 - 20,8 = 1,2 \text{ t}$$

bedingt ist.

Dieser Zuwachs muß sich auch bei Mitwirkung des passiven Erddruckes, also für den Gesamtwiderstand W einstellen, wenn man von der schrägen zur horizontalen Richtung der Angriffskraft übergeht. Mithin hätte gegenüber dem horizontalen Trossenzug der Bock einen Widerstand bis zu

$W_h = K + 1,2 = 20,8 + 1,2 = 22$ t, rund 50 t entgegenstellen können.

Zusammenstellung der Bezeichnungen.

Es ist hier:

- K der bei Neigung 1:2 des Druckholzes aufgewendete und gemessene Wert der angreifenden Kraft;
- (K) ein berechneter Teilwert gleicher Art, theoretisch ermittelt aus einer im Zugpfahl als vorhanden gemessenen Zugkraft (s. Abb.1, Bl.VII), unter Vernachlässigung des horizontal wirkenden passiven Erddruckes sich ergebend;
- K_p der passive Erddruck des Bodens gegen die Pfähle;
- W_h ist der durch Messung mit Hinzufügung einer kleinen Umrechnung gefundene ganze Bockwiderstand gegen den Angriff einer Horizontalkraft, z.B. des Trossenzuges.

Zustand c.

Der Meistwert des Bockwiderstandes ist erreicht; es nimmt bei weiterer Betätigung der Pressen der Bockwiderstand ab. Das ist hier nicht näher untersucht, da ein plötzlicher Bruch des schon gerissenen Zugpfahles befürchtet wurde.

e. Theoretische Ableitung des Horizontalwiderstandes W_h des Pfahlbockes aus dem gemessenen Schrägwiderstande K .

Zur Untersuchung C, siehe hierzu Blatt VII, Abb.1.

Gegeben ein freistehender Bock ABC, welcher an seinem Kopf A eine gelenkartige Verbindung des Druckpfahles AB mit dem Zugpfahl AC besitzt und auch bei B wie C nach unten hin gelenkartigen Anschluß findet. Bei B und C fällt die Richtung der Auflagerreaktion R jeweils mit der entsprechenden Stabrichtung zusammen. Ist Z gegeben, dann findet sich die Größe der Angriffskraft K, welche bei A am Bock angreift, aus der Beziehung:

$$K \cdot a = Z \cdot b$$

$$K = \frac{b}{a} \cdot Z$$

Darin sind a und b die Hebelarme der Kräfte K und z, auf einen beliebigen Punkt der Druckpfahlmittellinie, hier z.B. auf Punkt B, bezogen.

In Abb.1, Bl.VII ist eine Schar von Angriffskräften K verschiedener Richtungen gegeben. Die gestrichelt dargestellte Kraft K_1 steht normal zum Druckpfahl; für sie fällt Hebelarm a am größten und daher ihr Wert am kleinsten aus. Trägt man die Größenwerte der Kräfte auf ihrer jeweiligen Richtlinie von A aus auf, dann findet sich für den geometrischen Ort der Endpunkte jener Auftragungen die gestrichelte Linie a' b' c', welche in Verbindung mit Pol A in den Radienvektoren Aa', Ab' und Ac' usw. das Gesetz der Veränderlichkeit von K veranschaulicht.

Der Kleinstwert der Kraft findet sich hier zu

$$K_1 = \frac{63}{106} \cdot 35 = 20,7 \text{ t.}$$

Der Kraftwert K_1 , der Richtung der angebrachten Druckstrebe entsprechend, findet sich hier zu

$$K = \frac{63}{106} \cdot 35 = 20,8 \text{ t.}$$

f. Der theoretische Bockwiderstand gegenüber der Wirkung einer Horizontalkraft (Blatt VII Abb.1).

Bei horizontaler Richtung der angreifenden Kraft wächst deren Wert, hier als K_2 oder K_h bezeichnet, auf:

$$K_h = \frac{63}{100} \cdot 35 = 22,6 \text{ t}$$

an.

Es bedarf also jeweils der kleinen Umrechnung, einer Multiplikation mit

$$\frac{22}{20,8} = 1,06, \quad \text{um aus dem gemessenen}$$

Größenwert K diejenige Kraftgröße zu ermitteln, welche bei horizontalem Angriff (Richtung der Trossen) am Bock die gleiche Wirkung hervorgerufen hätte.

Ist Z so gesteigert, daß der Widerstand des Pfahles gegen axialen Zug (hier 35 t) überwunden ist, dann gibt die ermittelte Größe von K_h den Meistwert des theoretischen Bockwiderstandes W_2 an, im Versuch C zu 22 t berechnet.

Dabei ist als Ort der angreifenden Horizontalkraft der theoretische Knotenpunkt A verstanden. Bei Wahl eines anderen Angriffspunktes treten Biegungsspannungen im Pfahlbock auf, welchen besondere Beachtung zu schenken ist.

Bei Aufrichtung der "Avaré" griff der Trossenzug um 0,5 m unterhalb des Punktes A an. Hier war es der Zugpfahl, welcher den Hauptteil der Querkraft nach A und den kleineren Teil derselben nach unten in den Erdboden hinab durch seine Biegungsspannungen übertrug.

g. Der praktische Bockwiderstand gegen Horizontalzug.

Bei dem Umstande, daß in Hamburg keine hohen, freistehenden Böcke vorlagen, sondern Punkt A derselben nur 0,5 m über Geländehöhe lag, trat daselbst, den Pfahlbockwiderstand unterstützend, als Gegenkraft noch der passive Erddruck hinzu, dessen Wirkung zu $K_p = 27,6 \text{ t}$ (siehe vorstehend Abschnitt "Zustand b") ermittelt worden ist. Daraus hat sich dann ein Gesamtwiderstand von $W_2 = 49,6 \text{ t}$ ergeben.

Die gleichen Auftragungen, wie vorstehend beschrieben, für die Untersuchung D durchgeführt, ergeben eine andere Lage des Schaubildes a' b' c'. Punkt b', für welchen Kraft K ein Kleinst-

wert wird, rückt nach abwärts, dabei K_2 oder K_h bedeutend wächst, was ja erstrebt wird. Der Bockwiderstand ohne Mitwirkung des passiven Erddruckes, gegen die Vorderflächen der Pfähle gerichtet, hat von K_h (Abb.1, Blatt VII) = 22 t auf K_h = 53,7 t zugenommen (s.Abb.2).

h. Zum neuen Bockentwurf (Abb.3, Blatt VII).

Der eingerammte Druckpfahl fällt fort, er ist durch die Strebe S ersetzt.

Der Zugpfahl erhält die Neigung 1:2,5. Der theoretische Bockwiderstand steigt gegenüber Fall C von K_h = 22 t auf K_h = 62 t.

Schlägt man, alles übrige unverändert lassend, den Zugpfahl vertikal, dann findet sich

$$K_h = 35 \cdot \frac{40}{30} = 47 \text{ t.}$$

i. Ableitung der Druckkraft im Druckpfahl unter Beachtung der Mitwirkung des passiven Erddruckes.

1) Größe des Pfahldruckes bei der Untersuchung C.

Die Untersuchung ist in Abb.1, Bl.VII, in punktierten Linien dargestellt. Der passive, den Bock treffende, Erddruck ergibt sich dabei zu K'_p = 29 t. Das entspricht dem auf anderem Wege (s.vorstehend unter g) ermittelten Betrage K_p = 27,6 t recht genau. Die Zusammensetzung der Kräfte gestaltet sich wie folgt. K = 48,4 t (vergl. Nr.29 Zusammenstellung 3) und Z = 35 t Zug im Zugpfahl (vergl. den Abschnitt "zu A und B") ergeben die Resultierende c , welche sich in der Richtung des passiven Erddruckes K'_p (gegeben durch die Normale auf die Winkelhalbierende von AB und AC) und in die Richtung des Druckpfahles AB zerlegt. So findet sich K'_p = 29 t und der gesuchte Wert des Druckes im Pfahl AB zu 16 t.

2) Größe des Pfahldruckes bei 50 t angreifender Horizontalkraft.

Die geringe Größe des Druckes im Druckpfahl ist bei Untersuchung C durch den Umstand bedingt gewesen, daß die angreifende Kraft K im Druckholz schräge nach oben gerichtet gewesen ist; sie enthielt eine Vertikalkomponente von K_v = 22 t. Bei horizontaler Richtung der angreifenden Kraft, wie der Trossenzug sie bietet, würde daher der Druckpfahl, weil K_v fortfällt, etwa $16 + 22 = 38$ oder genauer 39,5 t Druck bei einer am Bock angreifenden Horizontalkraft von 50 t erhalten.

3) Größe des Pfahldruckes bei Aufrichtung des Schiffes.

Nachstehend im Abschnitt 9 ist ermittelt, daß bei Aufrichtung der "Avaré" der einzelne Pfahlbock etwa bis zu W_h = 30,4 t Horizontalwiderstand geleistet hat. Dabei hat der Druckpfahl, aus vorstehender Ermittlung (siehe 2) geschlossen, etwa bis zu

$$\dots \frac{30,4}{50} \cdot 39,5 = 24 \text{ t Druck erhalten.}$$

Nach der Rammformel (siehe Abschnitt 4) hätte derselbe mindestens einem Druck von 47,5 t widerstehen können, das ist zweimal so viel, als er bei Aufrichtung der "Avaré" im Meistbetrage erhalten hat.

Abschnitt 9. Angenäherte Ermittlung der eingetretenen Bockbeanspruchung auf horizontalen Zug bei Aufrichtung der "Avaré".

Der eingemessene Bock zeigte nach seiner Jnanspruchnahme bei Aufrichtung des Schiffes am Zugpfahl eine bleibende Hebung von $y = 4$ mm und eine Verschiebung von $x = 11$ mm. Das entspricht etwa im Augenblick der Jnanspruchnahme einer Hebung von $y = 6$ mm und einer Verschiebung um $x = 15$ mm.

Dieser Zustand des Pfahles wurde am 25. August zwischen den Stufen Zusammenstellung 3, Nr. 10 mit $y = 5\frac{1}{2}$ wie $x = 11$ bei $K = 28,3$ t und Nr. 11 mit $y = 8,5$ und $x = 16$ mm bei $K = 30$ t erreicht.

Der Mittelwertz beträgt

$$K = \frac{28,3 + 30}{2} = 29,2 \text{ t.}$$

Aus dieser in Neigung 1:2 wirkenden Kraft findet sich der Widerstand bei horizontalem Angriff, wie vorn im Abschnitt Untersuchung C "Zustand b" ermittelt ist, um 1,2 t größer, also zu:

$$W_h = 29,2 + 1,2 = 30,4 \text{ t}$$

horizontaler Widerstandskraft.

Es besteht zwar die Möglichkeit, daß ein einzelner Pfahlbock, was nicht festgestellt werden konnte, einen noch etwas höheren Trossenzug erhalten haben mag, aber auch Minderbeanspruchungen werden vorgekommen sein.

Die Sicherheitszahl der Halteböcke.

Die Böcke haben den bei Auftragserteilung zugewiesenen Trossenzug von 20 t mit

$$n = \frac{49,6}{20} = \text{rund } 2,5\text{facher Sicherheit}$$

ausgehalten.

In den Fällen vereinzelter gesteigerter Anstrengung der Pfahlböcke betrug deren Sicherheitszahl noch:

$$n' = \frac{49,6}{30,4} = 1,6.$$

D.H. erst bei Steigerung des Trossenzuges auf das 1,6fache des im Meistbetrug etwa eingetretenen Zuges hätten die Böcke nachgeben können, ihre Horizontalbewegung in Richtung des Zuges würde sich dann bis auf etwa 150 mm gesteigert und die Köpfe der Zugpfähle um 85 mm gehoben haben.

Abschnitt 10. Untersuchung D, an einem nachträglich durch eine Vorderstrebe verstärkten Bock ausgeführt.

(Siehe Photogr. IIIg und Zusammenstellung 4)

Bei der Hebung der "Gneisenau" aus dem Fahrwasser der Schelde bei Antwerpen (x) ist im Entwurf mit einer Zugkraft bis zu 3000 t gerechnet worden, während nur 2400 t gebraucht worden sind. Hier waren die 192 Verankerungsböcke in 4 Reihen hintereinander angeordnet, davon die Böcke der letzten Reihe als Rückhaltböcke bezeichnet sind. Während der Entwurf so aufgestellt war, daß dem einzelnen Bock bis zu 20 t Horizontalzug zu-

x) Siehe das Jahrbuch der hafenbautechnischen Gesellschaft, III. Band, S. 165-188, Hamburg.

gemutet werden sollte, hat derselbe in Wirklichkeit bei Aufrichtung des Schiffes nur

$$H = \frac{2400}{192} = 12,5 \text{ t}$$

für jeden der 192 Böcke im Mittel erreicht.

Von den Pfahlböcken standen die Böcke der dem Wasser zugekehrten ersten 3 Reihen im oberen Teil frei. Die theoretische Kopfhöhe, vom Schnittpunkt der Pfahlmittellinien bis zur Geländeoberfläche gemessen, betrug vorn 6,5, dann 5,8 und in der 3. Reihe 5,4 m (Abb. 4, S. 170 der Veröffentlichung). Um 22 m weiter landwärts folgte alsdann erst die 4. Reihe der Böcke (siehe Abb. 3, S. 169 und Abb. 6, S. 171); deren Kopf befand sich nur etwa 2,5 m über Gelände-Oberfläche. Unter diesen Umständen haben die Pfähle zu den ersten 3 Reihen nur in ihrer Eigenart als Böcke, d.h. als Dreiecks-Verbindung, gewirkt. Die Mitwirkung von passivem Erddruck kam bei ihnen, da sie ganz frei standen, nicht und bei den Böcken der Reihe 4 auch nur wenig in Frage. Der Boden bestand dort aus schlickhaltigem Sand.

Anders lagen die Verhältnisse bei Aufrichtung der "Avaré". Hier waren anstatt 192 Rückhaltböcken nur 66 vorhanden, deren theoretischer Knotenpunkt aber nur 50 cm über Geländeoberfläche (Schuppenboden) lag, sodaß die Pfähle in letzterem Falle im Boden durch passiven Erddruck vermehrten Widerstand fanden. Es kam noch hinzu, daß die Kopfverbindung, die Verzimmerung von Druck- und Zugpfahl, seitens der Firma Fr. Holst in vorbildlich bester Weise ausgeführt worden war, während die Böcke bei Aufrichtung der "Gneisenau" nach Abb. 5, S. 171 der Veröffentlichung, ohne Verdübelung ausgeführt worden sind und nur einen wenig tief greifenden Versatz und dazu weniger Aufholzlänge (übertretender Teil des Zugpfahles) zeigen. Andererseits betrug die Pfahlstärke bis zu 50 cm gegenüber nur 40 cm im Hamburger Fall.

Da die Pfahlböcke bei Aufrichtung der "Gneisenau" im Mittel nur mit etwa 12,5 t Horizontalzug beansprucht gewesen sind, lag der Gedanke nahe, ob in Hamburg die Böcke wohl den ihnen zugemuteten Zug von 20 t aushalten können, insbesondere einen Zug, welcher, durch Nebenumstände veranlaßt, im Sonderfall auch einmal erheblich über das Maß von 20 t hinausgehen würde. Daher legte ich mir die Frage vor, was geschehen könne, wenn bei der Schiffshebung eine Ueberbeanspruchung der Böcke und eine Verstärkung einzelner derselben sich darum als erwünscht erweisen sollte. Diese Erwägung war berechtigt, denn ohne Mitwirkung des passiven Erddruckes gegen Horizontalverschiebung der Böcke hätten dieselben je nur $Z = 22 \text{ t}$ Horizontalzug aushalten können (siehe Blatt VII K₁, Abb. 1), vorausgesetzt, daß der achsiale Zugwiderstand eines Pfahles 35 t betrug, welche letztere Zahl sich schätzungsweise im Vorwege berechnen ließ und hernach als Mittelwert bei den Untersuchungen A und B gemessen worden ist.

Hernach war es nun von Interesse, die für den Bedarfsfall geplante Verstärkung auch auszuführen und einer praktischen Prüfung zu unterziehen. So entstand die Untersuchung D.

Die Verstärkung erfolgte durch Anfügung einer in Neigung 1:1,3 am Pfahlbock angesetzten Hilfsstähle S an den schon geschwächten Pfahl. Die Strebe stützt sich gegen den Erdboden vor dem Druckpfahl, woselbst eine 1,1 m tiefe Grube nach Beendigung der Untersuchung C ausgehoben worden ist. Durch kräftige Eichenholzkeile ist jene Strebe mit ihren Holzunterlagen und dem Erdreich zunächst in Spannung versetzt worden.

Der Aushub der Grube und das Zusetzen wie Ansetzen der Strebe S nahm 2 Stunden Arbeitszeit in Anspruch. Die Untersuchung begann am 26. August um 4,30 Uhr. Die Pfahlhebung war von $y = 85,5$ auf $y = 75 \text{ mm}$ und die Horizontalverschiebung x von

146 mm am Ende des Versuches C durch Einbau der Strebe S auf 98 mm zurückgegangen.

Um 5 Uhr wurde der Versuch abgebrochen. Das Manometer der Presse 3 zeigte 295 Atm. an. Der Druck hatte $K = 57,1 \text{ t}$ erreicht, d.h. gegenüber C eine Steigerung um

$$\Delta K = 57,1 - 48,4 = 8,7 \text{ t.}$$

Gegenüber horizontalem Zug wäre nach der Berechnung zu Abb.2 Bl.VII der Zuwachs an Widerstand noch ein weit bedeutenderer gewesen, nämlich von

$$K_1 = 22,05 \text{ t auf } K'_1 = 53,7 \text{ t,}$$

also um rund $\Delta K = 32 \text{ t}$ mehr als zuvor, also auf:

$$W'_h = 49,6 \text{ (vgl. vorn Zustand b) } + 32 = 81,6 \text{ t.}$$

Dieser hohe Widerstand gegenüber horizontalem Zug würde sich aber nur dann herausgestellt haben, wenn das Fundament der Strebe S dem dabei gesteigerten Druck hätte widerstehen können. Das aber gelangte nicht zur Prüfung, da die Möglichkeit der Ausübung eines horizontalen Zuges (oder von hinten eines horizontalen Druckes) gefehlt hat.

Abschnitt 11. Neuer Bockentwurf.

(siehe Abb.11 und 12, Bl.X)

Aus der Untersuchung D läßt sich erkennen, daß der Entwurf zu einer wirtschaftlich zweckmäßigsten Bockkonstruktion, für einen Verwendungsfall, wie in Hamburg hier vorgelegen hat, sich etwa wie folgt gestalten dürfte. Der Zugpfahl wird in Richtung 1:3 oder 1:2 $\frac{1}{2}$ geschlagen. Gegen ihn stützt sich etwa in Neigung 1:1,3 die Strebe S, die auf Holzunterlagen ihre Stützung gegen das Erdreich findet. Da diese fast rechtwinklig gegen den Zugpfahl wirkt, bedarf es dort als Knotenpunktverbindung keiner kostspieligen Verzimmerung. Die Konstruktion ist leicht aufzustellen.

Ohne die Mitwirkung des passiven Erddruckes würde ein solcher Bock rund $W_h = 56 \text{ t}$ Horizontalwiderstand bieten. In Wirklichkeit tritt hier an dem verbliebenen Pfahl, dem Zugpfahl, passiver Erddruck auf. Diesen nur halb so groß, wie zuvor, für zwei Pfähle angenommen, und mit 14 t in Rechnung gestellt, ergibt als Grenze des Bockwiderstandes etwa

$$W_h = 56 + 14 = 70 \text{ t.}$$

Diese Bauart setzt voraus, daß der Erdboden den Druck der Strebe S aushält. Das würde nach der Berechnung auf Erddruck im vorliegenden Fall unter folgenden Umständen erreicht sein. Im Schuppen bestand der Boden aus Sand, welcher zur Zeit der Bauausführung, also vor etwa 15 Jahren, geschüttet worden war. Bodenkohäsion (Bodenfestigkeit) von Belang war also nicht vorhanden, sodaß die Werte der Erddrucktheorie, welche nur die Bodenreibung berücksichtigt, hier in Frage kommen. Die Strebe S erhält nach Abb.3, Blatt VII, bei $W_h = 56 \text{ t}$ etwa $S = 54 \text{ t}$ Druck.

Es kommt hier Tabelle IX meiner Erddruck-Tabellen, Lieferung 1 (x), S.19, Fall 1 und zwar $\sigma = 38^\circ$ Grad (Neigung der aktiven Kraft und daher auch des passiven Erddrucks) in Frage. Für $h = 1 \text{ m}$ Tiefe ist dort für 1 m Streifenbreite $P = 81\,000 \text{ kg}$ angegeben.

Eine Grube von 1 m Tiefe müßte also, wie im Schuppen 76 geschehen war, ausgehoben und der Druck der Strebe auf die also entstehende Böschung (Neigung 1,3:1) in 1 m Breite durch Holz-

x) Erddruck-Tabellen von Max Möller, Lieferung 1, 2te Auflage. Verlag von S.Hirzel, Leipzig.

unterlagen verteilt werden. Streng genommen ist es nicht erforderlich, mit einer Sicherheit über 1 zu rechnen, da die Betrachtung sich auf die Zerstörungsgrenze bezieht. Aber aus einem anderen Grunde mag es geboten sein, das Fundament der Strebe S über 1 m Breite und 1 m Tiefe zu vergrößern, da bei 1 qm Fläche der den Boden treffende Einheitsdruck von

$$p = \frac{54\,000\text{ kg}}{10\,000\text{ cm}^2} = 5,4\text{ kgcm}^{-2}$$

eine zu starke Bodenzusammendrückeung bedingen würde. Es dürfte sich empfehlen, die Grube 1,50 m tief auszuheben, damit im Grenzfall äußerster Beanspruchung bei 1 m Grubenbreite der Wert

$$p = \frac{54\,000}{15\,000} = 3,6\text{ kgcm}^{-2}$$

nicht überstiegen würde. Im Gebrauchsfall bei Forderung 2½-facher Sicherheit würde ich die zulässige Horizontalzugkraft auf

$$Z_1 = \frac{1}{2,5} W_h = \frac{56}{2,5} = 22\text{ t}$$

vermindern und der Einheitsdruck der Bodenpressung dann

$$p_1 = \frac{1}{2,5} p = \frac{3,6}{2,5} = 1,4\text{ kgcm}^{-2}$$

betragen.

Die Strebe S würde, soweit ihre Widerstandsfähigkeit gegen Druck allein in Frage kommt, nur eines Querschnittes von

$$F = \frac{1}{2,5} \cdot \frac{54\,000}{30} = 720\text{ cm}^2,$$

mithin von 27 x 27 cm erfordern. Um aber an den Anschlußflächen kleineren Druck zu erhalten, würde man die Abmessungen vielleicht auf 30 x 30 cm steigern.

Eine solche Bockkonstruktion, Abb. 11 und 12, Blatt X, würde einem horizontalen Zug von 22 t noch mit 2½-facher Sicherheit widerstehen.

Die Strebe S muß naturgemäß in 1,00 m Tiefe, d.h. in 2/3 der Gesamttiefe der Grube unter Gelände-Oberfläche, nämlich der Schwerpunktslage des den passiven Erddrucks darstellenden Dreiecks entsprechend, angreifen.

Diese Bockbauweise hätte im vorliegenden Falle manche Vorteile geboten. Dieselbe Sicherheit wäre erreicht worden. Die Hälfte an Rammarbeit wäre fortgefallen. Für die Druckstreben und deren Unterlagen hätte Material vom Lager genügt. Der Bau wäre ferner schneller herzustellen und hernach wieder schneller zu beseitigen gewesen, was in Hinblick auf die Benutzung des Kailschuppens für die Hamburg-Amerika-P.A.G. Bedeutung gehabt hätte.

Es möchte sich empfehlen, mit dieser Bockbauweise gelegentlich einen praktischen Versuch anzustellen, um deren gute Eigenschaften genauer feststellen und daneben etwa bestehende Mängel der Bauweise aufdecken zu können.

Abschnitt 12.

Die Kosten der ausgeführten Untersuchungen.

- 1) Zunächst entstanden Aufwendungen am Lagerplatz der Firma Fr. Holst, dann solche für Transporte und für die Untersuchungen selbst. Bei dem Stundenlohn von 4 52,50, welcher den Zimmerern damals gezahlt wurde, und bei Ansatz eines Betrages für Materialverschnitt ergeben sich diese von der Firma Holst getragenen Kosten etwa zu 4 26 000
- 2) Kosten, entstanden durch den Aufenthalt in Hamburg, und zwar meines Assistenten Herrn Dipl.-Jng. _____

Uebertrag 4 26 000

Uebertrag 26 000

Sesterhenn an 22 sowie von mir an 13 Tagen, durch verschiedene Reisen, Beschaffung photographischer Platten und ihrer Entwicklung usw. 17 000

Herr Ingenieur Heinrich Butzer, Dortmund, hatte bei Gelegenheit der seinerseits erfolgten Anregung zur Vornahme der Untersuchungen Mittel bereit gestellt, woraus diese Kosten gedeckt sind.

- 3) Die Herleiheung der verwendeten hydraulischen Pressen geschah seitens der Hamburgischen Wasserbaudirektion und der Reiherstieg-Schiffswerft sowie der verwendeten Manometer von der Firma C. D. Gäbler, Hamburg kostenfrei.

- 4) Die Kosten der hier vorliegenden Veröffentlichung, in 36 Ausfertigungen erfolgt, sind auch von Herrn Ingenieur Heinrich Butzer und der Firma Fr. Holst mit rund
übernommen.

102 000
~~1 40 000~~

Gesamtbetrag 1 83 000

145 000

Abschnitt 13.

Die Beseitigung der Pfahlböcke.

Nach Hebung der "Avaré" sind die Pfahlböcke bis auf einige derselben, welche zu dauernder Verwendung für einen Sonderzweck stehen bleiben sollten, von der Firma Holst entfernt worden. Das geschah durch Herausziehen der Pfähle mittels Bockgerüst, Flaschenzug und Dampfwinde unter gleichzeitigem Freispülen derselben. Ein 8 m langes Rohr und das Druckwasser der Kaischuppenwasserleitung wurden dazu benutzt. Es ist zunächst jeweils etwa 5 Minuten lang am Pfahl herunter gespült und dann der Flaschenzug in Tätigkeit gesetzt worden. So glückte es, an je einem Tage 10-11 Pfähle herauszuziehen.

Abschnitt 14.

Schlußbetrachtung.

Die beschaulich innere Arbeit theoretischer Untersuchung kommt leichter zustande als diejenige praktischer Forschung; für erstere bedarf es nur des Studierzimmers und stiller Stunden verfügbarer Zeit, welche uns nach Erfüllung der Berufspflicht verbleiben. Die praktische Forschung ist aber an Bedingungen gebunden, welche außer uns liegen. Dazu gehört das Vorhandensein entweder einer besonders eingerichteten Arbeitsstätte, eines Laboratoriums, wo fortlaufend wissenschaftliche Forschung betrieben werden soll, oder im Sonderfall eine sich außerhalb bietende Gelegenheit zur Durchführung von praktischer Forschung. Untersuchungen im Bauingenieur-Laboratorium werden allemal nur in beschränktem Umfange sich ausführen lassen. Meist fehlen uns Raum und Geldmittel für Versuche im Großen. Andererseits genügt der Versuch im Kleinen, welcher zwar wertvolle Anregung bringen kann, für sich allein genommen keineswegs, um diejenigen Erfahrungswerte zu bieten, deren der Bauingenieur zur Lösung wichtiger praktischer Aufgaben bedarf. Sind doch Rückschlüsse aus kleinen auf große Verhältnisse bei uns nur in beschränktem Umfange zutreffend. Daher ist es mit Dankbarkeit zu begrüßen, wenn die Herren Inhaber größerer Unternehmungen bereit sind, die Bemühung praktischer Forschung auf dem Gebiete unserer Bauingenieurwissenschaft mit Rat und Tat, sowie auch finanziell zu unterstützen, damit in größeren Verhältnissen auszuführende Untersuchungen zustande kommen können. Herr Ingenieur Heinrich Butzer, Dortmund, welcher in dem hier vorliegenden Fall mir die Anregung zur Vornahme dieser Untersuchung gegeben und zu deren Zustandekommen auch finanziell mit beigetragen hat, brachte die Notwendigkeit eines solchen Zusammenwirkens ja schon in

x)
treffender Weise zum Ausdruck.

Inwieweit die staatliche und kommunale Bauverwaltung das persönliche auf eine besondere Forschung gerichtete Bestreben eines Vertreters der Bauingenieurwissenschaft im Gelegenheitsfall unterstützen kann, sei an anderer Stelle später erörtert. Hier geschah das einmal durch die entgegenkommende Erlaubniserteilung zur Vornahme der Untersuchungen und durch gefällige Unterstützung, z.B. durch das Herleihen von Pressen sowie durch persönliche Förderung des Unternehmens seitens der Herren Kollegen der Hamburger Strom- und Hafenbaudirektion.

Ueber die Widerstandsfähigkeit gerammter Pfahlböcke grundlegende Erfahrungswerte zu erlangen, ist in neuerer Zeit besonders von praktischem Wert ~~gewonnen~~ geworden und doch ist mir kein Fall bekannt, daß darüber bisher praktische Untersuchungen angestellt worden sind.

Die Pfahlbock-Konstruktion zur Aufnahme einer Horizontalkraft, z.B. derjenigen des Erddrucks, findet zumal bei Kaibauten zunehmende Verwendung. Da ist es zur Aufstellung des Entwurfes erforderlich, Erfahrungswerte sowohl über die Größe des Zugwiderstandes von achsial beanspruchten Pfählen wie über den Widerstand ganzer Pfahlböcke auf horizontalen Zug zu gewinnen. Wenn auch im Sonderfall einer Entwurfsausarbeitung die örtlichen Verhältnisse von denjenigen also gebotener Beispiele abweichen werden, so läßt sich jedoch ein brauchbarer Rückschluß um so treffender ausführen, je häufiger derartig praktische Untersuchungen unter tunlichst genauer Beschreibung aller Nebenumstände vorgenommen sind. So mag das hier Gebotene als Beitrag der Vermehrung unseres praktischen Wissens auf diesem Gebiete von Wert sein.

x) Siehe: "Zur Förderung wissenschaftlicher Ausbildung im Bauingenieur-Studium" Der Bauingenieur 1922, S.503.

Auffallend erscheint mir im vorliegenden Fall das gewonnene Ergebnis einer so bedeutenden Steigerung des Bockwiderstandes gegen horizontalen Zug durch die Mitwirkung des passiven Erddruckes. Zwar bestand der Boden in der oberen Schicht von einigen Metern Mächtigkeit aus Sand, welcher aber immerhin erst vor etwa 15 Jahren geschüttet worden ist. Eine Steigerung des aus der Dreieckskonstruktion des Pfahlbockes und dem Zugwiderstande des Zugpfahles von $W' = 35 \text{ t}$ theoretisch zu ermittelnden Bockwiderstandes von $W_h = 22 \text{ t}$ auf den aus den Ließergebnissen abgeleiteten Wert von $W_h = 50 \text{ t}$ habe ich nicht erwartet. Wollte man letzteren Wert ohne Erkenntnis der Ursache seiner Größe auf andere Verhältnisse, z.B. auf einen hoch aus dem Boden herausstehenden Bock anwenden, dann würde das zu großen Enttäuschungen führen können. Daher sind rein empirische Versuche ohne eine anschließende gründlich-wissenschaftliche Bearbeitung des gewonnenen Materials leicht irreführend. Die Nutzauswertung der theoretischen Betrachtung muß hinzutreten, um das Unternehmen wertvoll zu machen. Wo das fehlt, kann eine einseitig betriebene praktische Untersuchung den Fortschritt hemmen, und insbesondere den Ausbau der Theorie durch gemachte Trugschlüsse stören.

Der Nutzen ausgeführter und in ihren Ergebnissen sorgfältig bearbeiteter praktischer Untersuchungen liegt übrigens nicht nur darin,, daß durch sie wichtige Erfahrungswerte von grundlegender Bedeutung gefunden werden, sondern daneben auch im Gewinn einer Summe neuer und erweiterter Anschauungen über das Verhalten der Materialien und ihrer Verbindungen unter der Wirkung der dieselben angreifenden Kräfte. Auch manche Nebenumstände, die man da beobachtet, können nachträglich von Wert sein. Die Bedeutung, welche der passive Erddruck im vorliegenden Fall gehabt hat, ist z.B. wesentlich mitbestimmend für die zweckmäßigste Höhenlage des Angriffspunktes der Trossen am Pfahlbock. Die gewählte Lage

unmittelbar über dem Erdboden war hier die richtige. Eine Anbringung derselben in Höhe des theoretischen Pfahlkopfes, Punkt A, dort, wo die Pfahlmittellinien sich schneiden, würde zu einem ungünstigeren Ergebnis geführt haben. Meine Versuchsanordnung (siehe die Versuche C und D) war durch die Richtung des Druckholzes D gegen Punkt A hin so gewählt, daß letzteres eingetreten ist. Hätte sich der Angriffspunkt tiefer herabrücken lassen können, dann möchte sich voraussichtlich ein noch etwas größerer Pfahlbockwiderstand ergeben haben. Eine derartige Verschiebung des Angriffspunktes nach abwärts hätte aber den Aushub einer zu tiefen Grube im Boden bedingt, was untunlich gewesen wäre.

Die Durchführung praktischer Untersuchungen bringt auch neuartige Anregungen mit sich, welche schonenden Keim zu Plänen weitergehend forschender Arbeit enthalten und zu praktischer Nutzenanwendung der gewonnenen Erfahrung führen.

Die Vorstellung, es genüge die Beobachtung der Nutzbauten, um an ihnen Erfahrung über deren Widerstandsfähigkeit zu sammeln, ist nicht berechtigt. Zeigen sich an ihnen keine Mängel, dann weiß man nicht, mit welcher Sicherheit sie den angreifenden Kräften standhalten. Findet aber ein Unfall statt, dann liegen die Verhältnisse meist so verwickelt, daß sich aus ihrem Studium grundlegende Erfahrungswerte, wie die Wissenschaft solche braucht, auch nicht ableiten lassen. Es tritt noch der Umstand hinzu, daß bei einem Bauunfall oftmals Mängel der Ausführung die Schuld tragen, deren Aufdeckung nicht immer erreichbar ist. Wollen wir also bei unserer entwerfenden Tätigkeit nicht im Dunkeln tasten und uns auf unsichere Schätzung stützen, dann bedarf es neben Förderung der Theorie auch der Pflege praktischer Forschung. Das ist allemal aufs neue besonders nötig, wenn die baulichen Verhältnisse im Laufe der Jahre sich geändert ha-

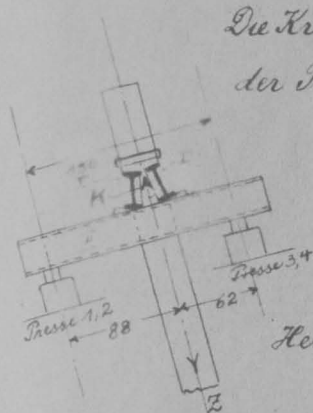
ben, neue Baumittel zur Anwendung gelangen, neue Materialien oder neuartige Konstruktionen benutzt werden. Auch wenn man von kleineren zu größeren Verhältnissen übergeht, bedarf es der praktischen Feststellung dessen, was dabei zu beachten ist. Wird das erreicht, dann erhält sich unsere Wissenschaft gesund, wenn nicht, dann veraltet und krankt dieselbe.

Leider kommt es bei uns in Deutschland nur sehr vereinzelt vor, daß man die praktische Forschung in den Dienst der Lösung gewisser Bauingenieur-Unternehmungen stellt, um aus ihr wirtschaftlichen Nutzen zu ziehen. Wie selten wird ein Bauingenieur, welcher sich umfassenderer Studien auf einem Sondergebiet hingegeben hat, so frühzeitig zur Mitwirkung an einer Unternehmung herangezogen, daß derselben seine wissenschaftlichen Kenntnisse voll zu Gute kommen könnten, und daß er in den Stand gesetzt wäre, die nach den Verhältnissen der Oertlichkeit anzustellenden praktischen Voruntersuchungen auszuführen. Darin ist Wandel zu schaffen, dann werden auch Mittel für Durchführung von Untersuchungen nicht fehlen, weil deren Kostenaufwendungen sich durch die unmittelbar anschließende Nutzauswertung vielfach bezahlt machen.

Zusammenstellung 1.

Zur Untersuchung A. Messergebnisse vom 23. August 1922.

Erste Messung eines Zugpfahles auf axialen Zug



Die Kraft sollte durch 4 hydraulische Pressen an den 4 Enden der Träger II gräussert werden. Es zeigte sich aber, dass Pumpe 4 versagte, und daher mussten Presse 3 und 4 stillgestellt und als Stützlager der nun als Hebel wirkenden Träger II benutzt werden. Am freien Ende dieser Träger griffen die Pressen I und II an, deren Hebelarme aus beistehender Skizze ersichtbar sind.

Zugung ein. Pfahles
in einer
Arbeits-
periode

in gan-
zen
Zug

σ in $\frac{m}{m}$ γ in $\frac{m}{m}$

Nr.	Zeit der Beobachtung	Manometer		Axialer Zugwiderstand im Stahl in t	in einer Arbeitsperiode	
		Ables. in mm	Ables. in mm		σ in $\frac{mm}{mm}$	γ in $\frac{mm}{mm}$
	23. Aug. 1922	Pr. 1.	Pr. 2			
1	3 ¹⁵ Nachm.	0	0	Beginn der Untersuchung, Presse 4 betätigt sich nicht, daher Presse 3 und 4 stillgestellt	0	0
2	4 ⁰⁰ "	50	50	$K = (0,123 \cdot 50 + 0,0785 \cdot 50) \cdot \frac{150}{62} = 24,4 t$ Unterpretung der Pressen 3 und 4.	2 1/2	2 1/2
3	4 ⁴⁵ "	50	50	$K = (0,123 \cdot 50 + 0,0785 \cdot 50) \cdot \frac{150}{62} = 24,4 t$ Bim weiteren Pumpen ändert sich das Hebelverhältnis allmählich.	1 1/2	4
4	5 ²² "	80	80	$K = (0,123 \cdot 80 + 0,0785 \cdot 80) \cdot \frac{150}{77} = 31,00 t$	4 1/2	8 1/2
5	5 ⁴⁰ "	80	80	$K = (0,123 \cdot 80 + 0,0785 \cdot 80) \cdot \frac{150}{77} = 31,00 t$	2	10 1/2
6	5 ⁵² "	70	70	$K = (70 \cdot 0,123 + 70 \cdot 0,0785) \cdot \frac{150}{77} = 27,50 t$	2	12 1/2
7	6 ⁰⁰ "	70	120	$K = (0,123 \cdot 70 + 0,0785 \cdot 120) \cdot \frac{150}{77} = 35,10 t$	7 1/2	20
8	6 ¹⁶ "	80	120	$K = (0,123 \cdot 80 + 0,0785 \cdot 120) \cdot \frac{150}{77} = 37,80 t$	2	22

Zusammenstellung 2.

Zur Untersuchung B. Messergebnisse vom 24. August 1922.

Zweite Messung eines Zugpfahles auf axialen Zug.

Die Hebelarme a und b hatten bei den beiden Trägern II (siehe nebenstehende Skizze) nicht die gleiche Länge

es fand sich:

bei Presse 1 $a_1 = 93 \text{ cm}$, $b_1 = 172 \text{ cm}$ und das Verhältnis $\frac{b_1}{a_1} = \frac{172}{93} = 1,85$

" " 2 $a_2 = 90$ " , $b_2 = 165$ " " " " $\frac{165}{90} = 1,83$

Die Druckkraft der Presse 1 mit K_1 bezeichnet, diejenige der Presse 2 mit K_2 , ergibt sich für die im Stahl wirkende Zugkraft: $Z = Z_1 + Z_2 = K_1 \cdot 1,85 + K_2 \cdot 1,83$

Mit dem Bedienen der Pressen wurde 2¹⁵ Uhr Nachm. begonnen und geschah das durch ein Versetzen zu vorschnell, so dass im Zeitpunkt erster Bewegung des Stahls die Manometerablesung nicht festgestellt worden ist. Das geschah erst als der Stahlkopf sich schon um $y = 8 \text{ mm}$ gehoben hatte. Die Untersuchung wurde aufs Neue mit kleinerem Druck begonnen. Die Hebung eines Stahls einer Arbeitsperiode ist mit Δy und im ganzen jeweils mit y bezeichnet.

Exp. No.	Zeit der Beobachtung	Manometer Abt. in Atm		axialer Zugwiderstand im Stahl in t.	Hebung d. Stahls in einer Arbeits- periode Δy in mm		im ganzen y in mm
		P. 1	P. 2				
1	24. August 1922. 2 ⁰⁵ Nachm.	0	0	0	0		0
2	2 ⁰⁹ "	-	-	(keine Ablesung)	8		8
3	2 ¹¹ "	49	70	$K_1 = 49 \cdot 0,123 \cdot 1,85 = 10,37 \text{ t}$ $K_2 = 70 \cdot 0,0785 \cdot 1,83 = 10,08$ $Z = K = 20,45 \text{ t}$	0		8
4	2 ¹⁵ "	70	75	$K_1 = 70 \cdot 0,123 \cdot 1,85 = 15,9 \text{ t}$ $K_2 = 75 \cdot 0,0785 \cdot 1,83 = 10,8$ $Z = K = 26,7 \text{ t}$	3		11
5	2 ²⁵ "	58	110	$K_1 = 58 \cdot 0,123 \cdot 1,85 = 13,2 \text{ t}$ $K_2 = 110 \cdot 0,0785 \cdot 1,83 = 15,8$ $Z = K = 29,00 \text{ t}$	4,5		15,5
6	2 ²⁸ "	60	110	$K_1 = 60 \cdot 0,123 \cdot 1,85 = 13,6 \text{ t}$ $K_2 = 110 \cdot 0,0785 \cdot 1,83 = 15,8$ $Z = K = 29,40 \text{ t}$	5,5		21
7	2 ³⁵ "	65	108	$K_1 = 65 \cdot 0,123 \cdot 1,85 = 14,7 \text{ t}$ $K_2 = 108 \cdot 0,0785 \cdot 1,83 = 15,5$ $Z = K = 30,2 \text{ t}$	10		31
8	2 ⁴⁵ "	65	125	$K_1 = 65 \cdot 0,123 \cdot 1,85 = 14,7 \text{ t}$ $K_2 = 125 \cdot 0,0785 \cdot 1,83 = 17,9$ $Z = K = 32,60 \text{ t}$	14		45
9	2 ⁵⁰ "			Entlastung, Neueinstellung der Hebel, Vornahme von Unterpallungen nach Zurückgang der Presskolben.	-3,5		41,5
10	3 ²⁰ "	-	-		5		46,5
11	3 ²⁵ "	65	120	$K_1 = 65 \cdot 0,123 \cdot 1,85 = 14,7 \text{ t}$ $K_2 = 120 \cdot 0,0785 \cdot 1,83 = 17,2 \text{ t}$ $Z = K = 31,9 \text{ t}$	16		62,5

Lfd. Nr.	Zeit der Beobachtung	Manometer abl. in mm.		Axialer Zugwiderstand im Stahl in t	Hebung d. Pfahles in einer Hb. Per. 24 in %	Hebung d. Pfahles im ganzen 4 m
		Pr. 1	Pr. 2			
11	3 ³⁵ Uhr Nach.	70	120	$K_1 = 70 \cdot 0,123 \cdot 1,85 = 15,9 t$ $K_2 = 120 \cdot 0,0785 \cdot 1,83 = 17,2 t$ $Z = K = 33,1 t$	21	33,5

Es mag auffallen, daß die beiden Pressen unregelmäßigkeiten in der Steigerung des Druckes zeigen. Das erklärt sich wie folgt. Einmal muß der Druck der Presse 2 wegen ihres kleineren Kolbendurchmessers größer sein als von der Presse 1, wenn beide angenähert gleichen Druck äussern ^{sollen}. Weiter nimmt der Druck der Pressen bei Stillstand oder bei schwächerer Betätigung der Pumpe ab, da der Erdboden auch nachträglich noch nachgab, und weil die Mehrbeanspruchung einer Pumpe entlastend auf die andere wirkt. Zwar ist so gepumpt worden, dass die beiden Hebelarme (Träger II) sich gleichmäßig anhoben, und ist das durch Wasserwaage jeweils nachgeprüft, aber die Betätigung der Pumpen konnte dem nicht genau angepasst werden. Zudem waren die Hebelarme an welchen die Pumpen wirkten ja nicht genau einander gleich.

Zusammenstellung 3

Zur Untersuchung C. Messergebnisse vom 25. und 26. August 1922.
Messung eines Pfahlbockes auf umwerfen.

Lfd. Nr.	Zeit der Beobachtung	Manomet. abl. in mm.		Bockwiderstand K in Richtung des Druckholzes D (Phot. III 6, 7 u 8) in t	Hebung des Pfahles in einer Hb. Per. 24 in %	Hebung d. Pfahles im ganzen 4 m
		Pr. 1	Pr. 2			
	25. Aug. 22.			Einbau der Versuchsvorrichtung am Vormittag.		
1	1 ²⁵ L. Nach.	0	0	Beginn der Untersuchung	0	0
2	1 ³⁰ " "	12	12	$K = K_1 + K_2 = 15 + 0,9 = 2,4 t$	0	0
3	1 ⁵⁰ " "	50	70	$K = 6,15 + 5,49 = 11,6 t$	0	2,5
4	2 ⁰³ " "	80	62	$K = 9,84 + 4,87 = 14,7 t$	2	3,5
5	2 ¹⁰ " "	49	95	$K = 6,03 + 7,37 = 13,40 t$	0	4,0
6	2 ²⁰ " "	100	125	$K = 12,3 + 9,81 = 22,10 t$	15	5,5
7	2 ²⁵ " "	---	---	Fugen ^{find} afa' am Bügel dicht gepresst " b u b' klaffen unten 3 mm (s. Abb.)		
8	2 ²⁹ " "	115	145	$K = 14,15 + 11,38 = 25,4 t$	0	8,00
9	2 ³⁶ " "	115	170	$K = 14,15 + 13,34 = 27,5 t$ Dort, wo Zweckes Anbringung des Querregels und des ihn stützenden Keiles K (Photogr. I 5) ein Ausschnitt am Zugstahl von 70 mm Tiefe gemacht worden war, ist ein Riss entstanden. (s. Abb.) A. oben 11 mm. B. unten 70 mm.		

Nr.	Zeit der Beobachtung	Manometer		Hookwiderstand K in Richtung des Druckholzes D (Photogr. III ₆ 7 u. 8) in t	Hebung des Pfahles in seiner ganzen Länge		Verbiegung des Pfahles in Richt. d. Druckes
		Ablesung in mm.			in mm		
	25. Aug. 22	P. 1	P. 2		0,8	y	x
10	2 ⁵³ h. Nachm.	110	188	$K = 13,53 + 14,76 = 28,3 \text{ t}$	2,0	5,5	11,0
11	3 ³⁰ h. "	135	170	$K = 16,61 + 13,35 = 30,00 \text{ t}$	3,0	8,5	16,0
12	3 ³⁹ h. "	148	200	$K = 18,70 + 15,7 = 34,4 \text{ t}$	5,5	14,0	24,0
13	3 ⁴⁷ h. "	160	200	$K = 19,68 + 15,7 = 35,4 \text{ t}$	1,0	15,0	27,0
14	-	-	-	Zeitaufwendung für die photogr. Aufnahmen			
15	4 ⁵² h. "	150	250	$K = 18,45 + 19,62 = 38,1$	0,0	15,0	30,0

Die Untersuchung wird abgebrochen. Es besteht die Ansicht, dass die beiden Pumpen nicht ausreichen, um die Untersuchung zu vollenden, so dass eine grössere Presse gebraucht werde. Die Pumpen sind so bedient worden, dass der Pfahlbock keine seitliche Krümmung annahm, diese wurde fortlaufend gemessen und erreichte zum Schluss im Mittelbetrage nur 1 mm .

Es wird am Morgen die Presse 3 von der Reicherstagschiffswerft herbeigeschafft. Der Pfahl ist entlastet, er hat sich um 4 mm wieder entgegen der Richtung des ausgeübten Druckes zurückgebogen.

	26. Aug. 22	Presse 3				
16	11 ²⁰ h. Vorm.	0	Beginn der Untersuchung	-	15,0	26,0
17	11 ²⁰ h. "	110	Es wird der Druck langsam gesteigert auf 30, 80 und 100 Atm.	0	15,0	27,0
18	11 ²¹ h. "	115	$K = 22,3 \text{ t}$	0	15,0	27,0
19	11 ²³ h. "	175	$K = 33,9 \text{ t}$	3	18,0	33,0

Die Presse drückt sich zu stark in die Holzunterlagen ein, diese beginnen zu spalten. Eisenunterlagen werden zur Verteilung des Druckes eingebaut.

20	11 ⁴⁹ h. "	170	$K = 32,9$	4	22	37
21	12 ⁰¹ h. "	200	$K = 38,7$	10	32	59
			Riss R - siehe vorstehend die Abbildung zu Nr. 9 klappt nun 14 mm			
22	12 ³⁴ h. "	205	$K = 39,7$ (Riss R 21 mm)	12,5	44,5	74
23	12 ⁴³ h. "	220	$K = 42,6$	10,0	54,5	91

Die Verzimmerung des Versatzes und des Dübels hat sich fehlerfrei erhalten. — Pause: Der Pumpenkolben muss zurück gestellt werden. Der Druck wird abgelassen, und die Versuchsvorrichtung auf die beiden Topfschrauben abgestützt und Unterpallungen aus Eisen zwischen den zurückgelassenen Kolben und dem eisernen Querriegel eingebracht. Bei dem wieder aufpumpen gibt die Unterlage 82 mm nach, bevor die volle Spannung wieder erreicht ist.

25	1 ²⁰ h. "		Photogr. Aufnahme III ₈ (volle Öffnung, 5 Sek. Bel.)			
26	1 ²⁸ h. "	2200	K - klein, die Topfschrauben halten nur. Der Pfahl hat sich um 6 mm zurückgebogen.	0	54,5	85

Exp. Nr.	Zeit der Beobacht.	Kanom. Abb. in tmm.	Hockwiderstand K in Richtung des Druckholzes D (Photogr. III, 7 u. 8) in t	Hebung d. Pfahl		Verbieg. d. Pfahl. in Richt. d. Druckh.
				in einer Abt. Per. Δy mm	im ganzen y mm	
27	134 Nach.	220	$K = 42,6$ t, Riss $R - 24$ mm weit. Ein Erdsplatt von 100 mm Weite hat sich hinter dem Zugpfahl gebildet, weil der Pfahl nach links verdreht worden ist.	9	63,5	104
28	141 ..	240	$K = 46,4$ t	12	75,5	129
29	146 ..	250	$K = 48,4$ t	10	85,5	146

Erdsplatt Sp klappt oben 12 cm. Der Hockwiderstand wächst nicht mehr von Belang. Der Kirsuch wird abgebrochen, da bei Fortsetzung desselben der Zugpfahl brechen würde.

Zusammenstellung 4.

Zur Untersuchung D. Messergebnisse vom 26. August 1922.

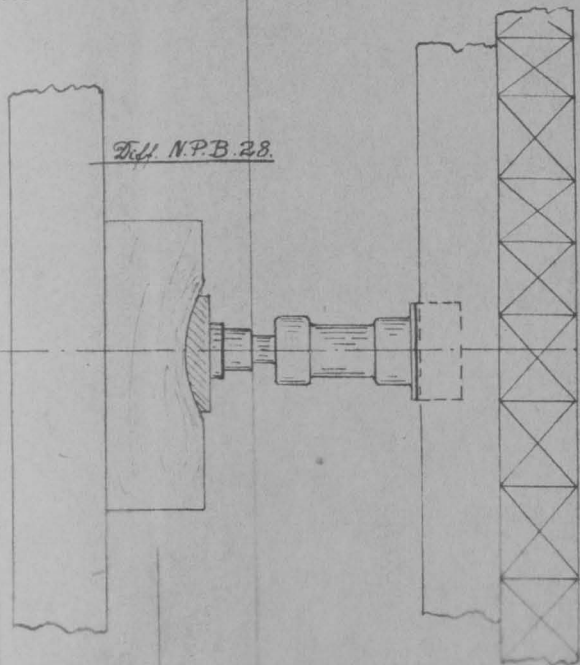
Messung eines durch eine Stiege verstärkten Pfahlbockes auf umwerfen.

Exp. Nr.	Zeit der Beobacht.	Kanom. Abb. in tmm.	Hockwiderstand K in Richtung des Druckholzes D (Photogr. III, 9) in t	Hebung d. Pfahl		Verbiegung d. Pfahles in Richt. d. Druckh.
				in einer Abt. Per. Δy mm	im ganzen y mm	
1	4 30 u. N.		In der Zeit von 2 ⁰⁰ bis 4 1/2 Uhr ist der Aushub der kleinen Grube von 1,10 m Tiefe vor dem Druckpfahl des Bockes erfolgt und die Verstärkungsstiege S (Photogr. III, 9) angebracht. Der Pfahl hat sich infolge Ablassens des Druckes um $146 - 98 = 48$ mm zurückgebogen und um $85,5 - 75 = 10,5$ mm aufgerichtet. Es wird mit dem Pumpen begonnen.	10,5	75	98
2	4 37 ..	278	$K = 53,8$ a) Riss R_1 an der Versatzung des Druckholzes D entstanden. b) Der Druckpfahl wirkt nicht mehr mit, er ist durch die Stiege S ersetzt. Über dem Kirschholz am Versatz des Druckpfahles klappt eine Fuge von 5 mm Weite, während sich hier der Zugpfahl bisher fest aufgesetzt hatte.	30	105	154
3	4 53 ..	295	$K = 57,1$ t Riss R im Zugpfahl, siehe die Skizze Zusammen-	10	115	185

Zeit der Beobachtung	Längsbolesung in m. Nr. 3	Bockwiderstand K in Richtung des Druckholzes D (Phot. III u. 9) in t	Abbildung d. Zust. in unv. mm			Verh. d. Zust. in unv. mm
			Ab. Per. Δy mm	ganzen y mm	in unv. mm	Verh. d. Zust. in unv. mm

stellung 3 zu Nr 9 klappt 33 mm, er ist 1 m tief zu verfolgen. Auch der Erdsplatt Sp , siehe Zusammenstellung 3 zu 27 hat sich erweitert, er ist von oben her 2,40 m tief zu verfolgen.

Zwischen dem Kolben und dem I. Eisen „Querriegel“ waren ein Holzstück und Eisenteile gelegt, welche letztere sich in das Holz völlig eingedrückt hatten.



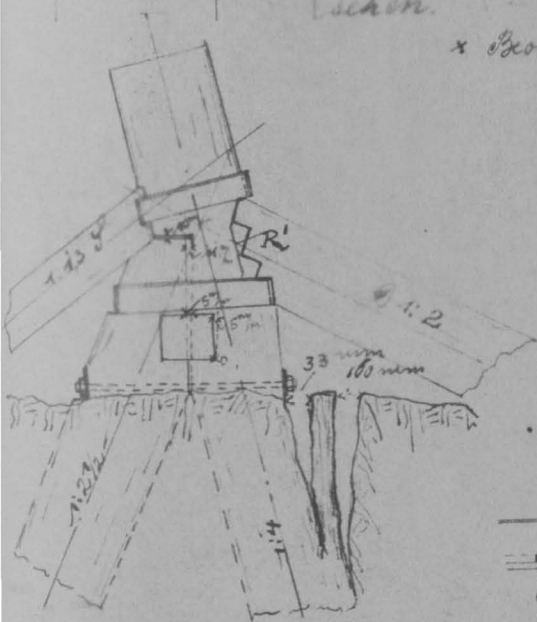
Der Versuch konnte nicht weiter fortgesetzt werden. Es bestand die Wahrscheinlichkeit, dass der Zugpfahl am Ort des Risses plötzlich brechen und damit für die Beteiligten Gefahr verbunden sein würde.

Wäre die Untersuchung C nicht vorangegangen, und der Bock nicht schon vorher überanstrengt gewesen, bevor Stöße Langgesetzt worden war, dann hätte der verstärkte Bock noch mehr als $K = 57 t$ ausgehalten. Die Verbiegung des Bockes wäre dann erheblich kleiner ausgefallen.

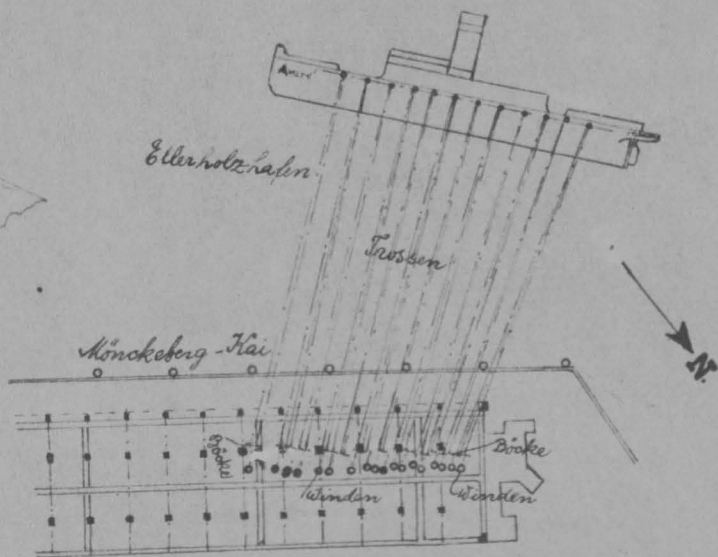
Nach Entfernung der Presse.

Der Bock ist um $\Delta x = 185 - 139 = 46$ mm zurückgeklappt, er hat sich um $\Delta y = 115 - 102 = 13$ mm wieder gesenkt. Der Bock zeigt nun nachstehendes Aussehen.

x Beobachtung unsicher.



Lageplan.
Sk. 1:2000.



Vulkan,
werft
Dack
I

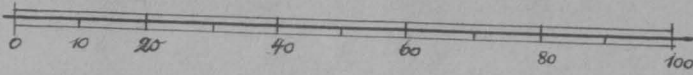
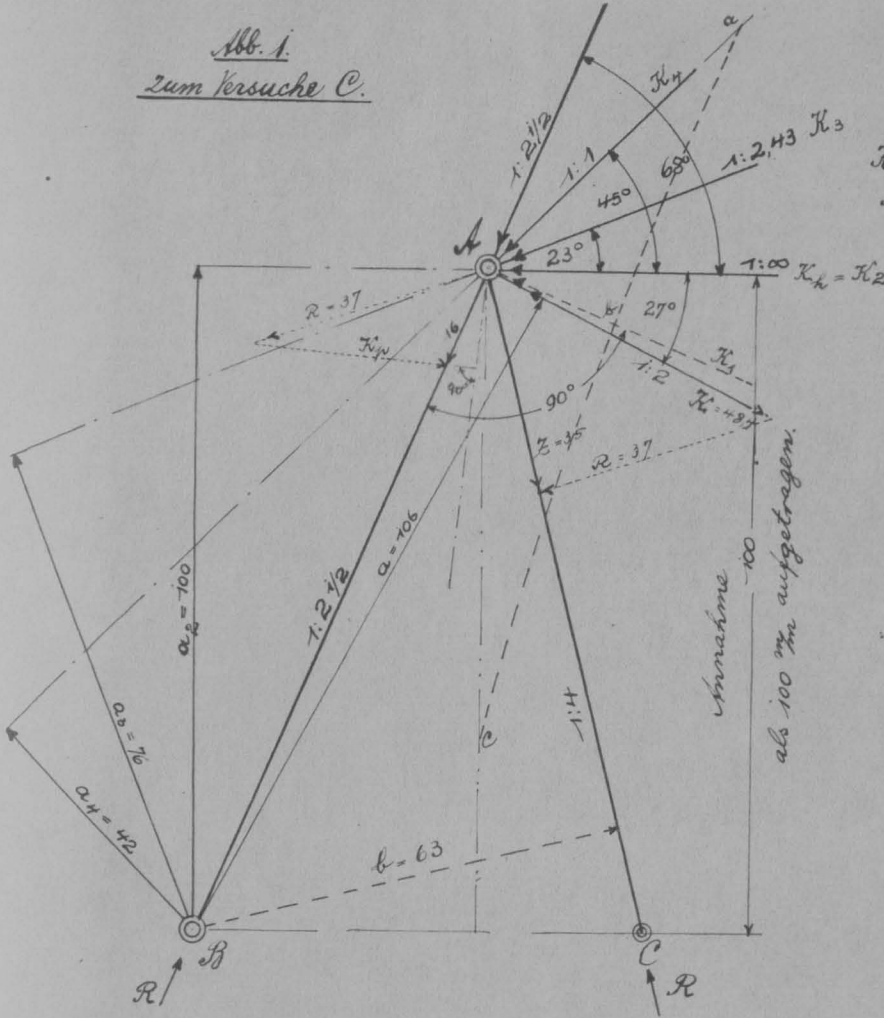


Abb. 1.
zum Versuche C.



$$K \cdot a = Z \cdot b$$

$$K = \frac{b}{a} \cdot Z$$

$$K = \frac{63}{106} \cdot 35 = 20,8 \text{ t}$$

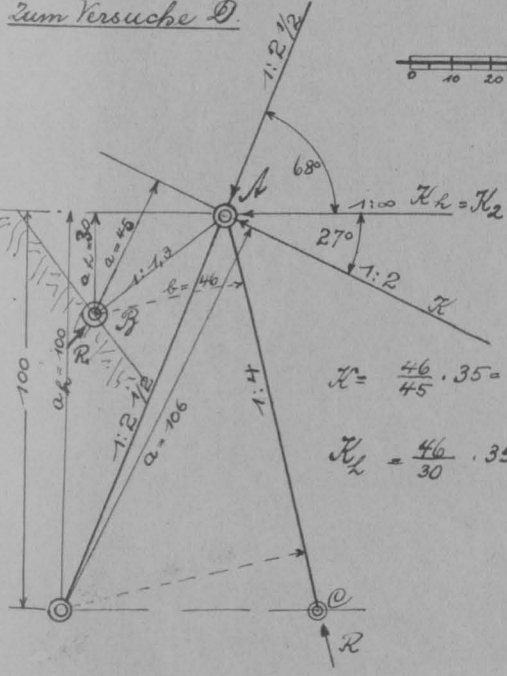
$$K_1 = \frac{63}{106,5} \cdot 35 = 20,7 \text{ t}$$

$$K_h = K_2 = \frac{63}{100} = 22,0 \text{ t}$$

$$K_3 = \frac{63}{76} \cdot 35 = 29 \text{ t}$$

$$K_4 = \frac{63}{42} \cdot 35 = 52,5 \text{ t}$$

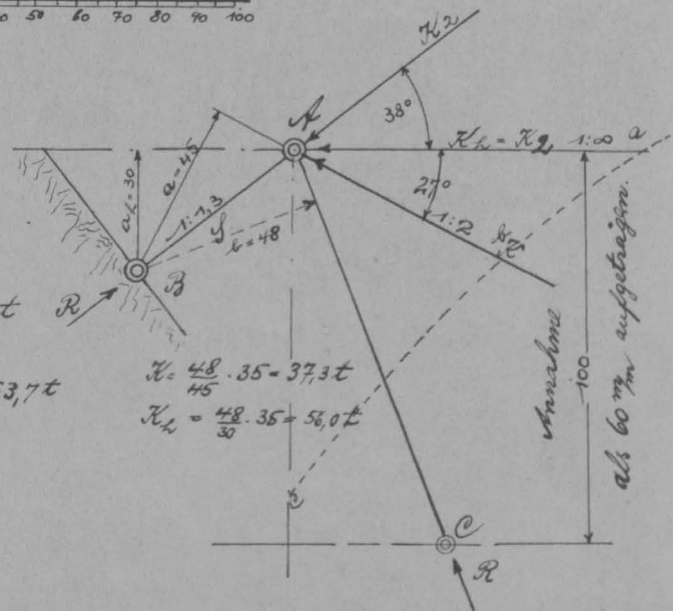
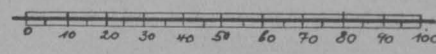
Abb. 2.
zum Versuche D.



$$K = \frac{46}{45} \cdot 35 = 35,8 \text{ t}$$

$$K_h = \frac{46}{30} \cdot 35 = 53,7 \text{ t}$$

Abb. 3.
Neuer Bockentwurf

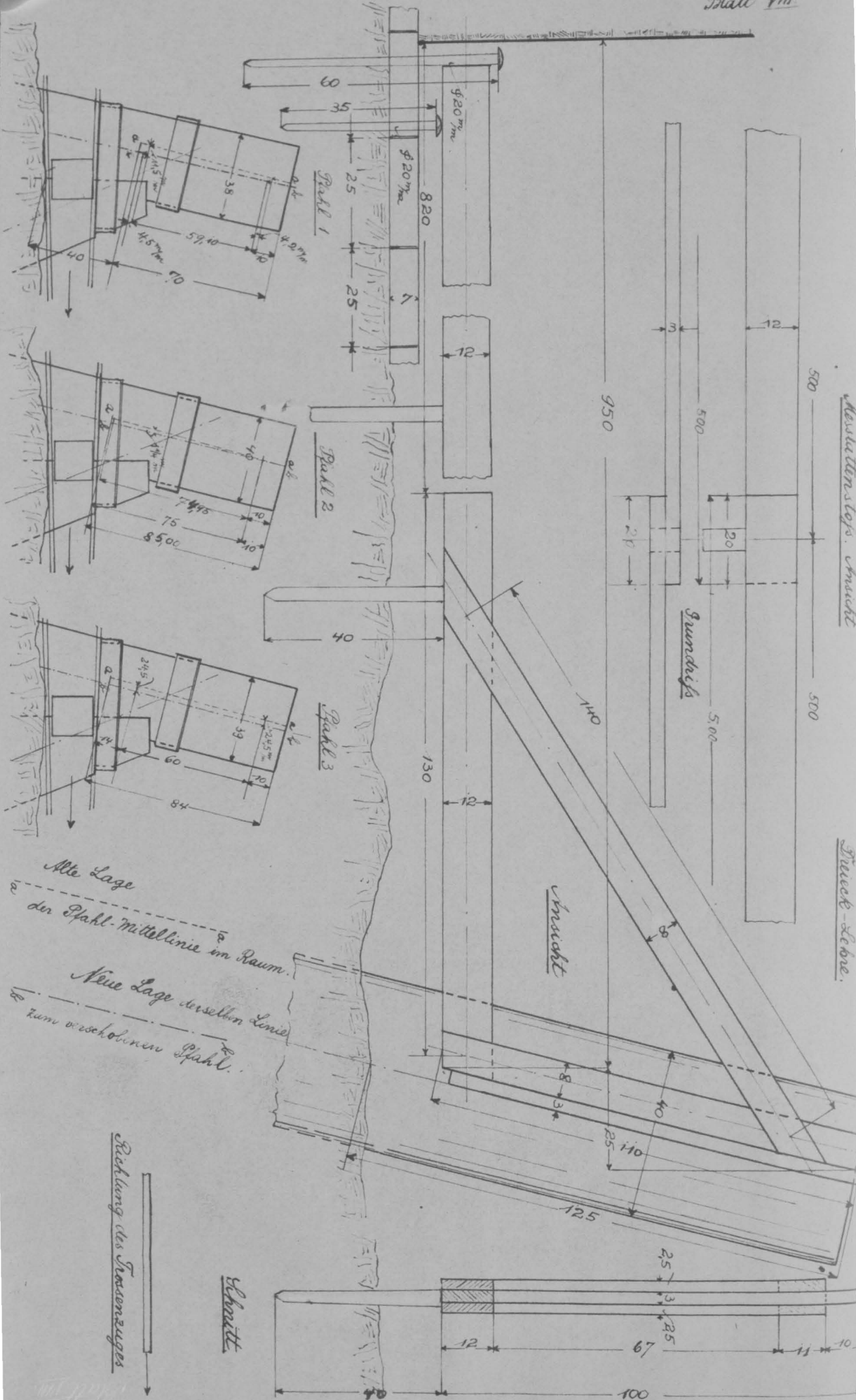


$$K = \frac{48}{45} \cdot 35 = 37,3 \text{ t}$$

$$K_h = \frac{48}{30} \cdot 35 = 56,0 \text{ t}$$

Resultantenstop. Schnitt

Streck. Seile.



Alte Lage
der Stahl-Mittellinie im Raum.
Neue Lage derselben Linie
zum verschobenen Stahl.

Stückung des Transversales

Schnitt

Aufrichtung der Avaré Hamburg. Pfahlbock-Untersü.

Blatt IX

PFAHLBOCK

Ansicht.

ABB. 1.

ABB. 2.

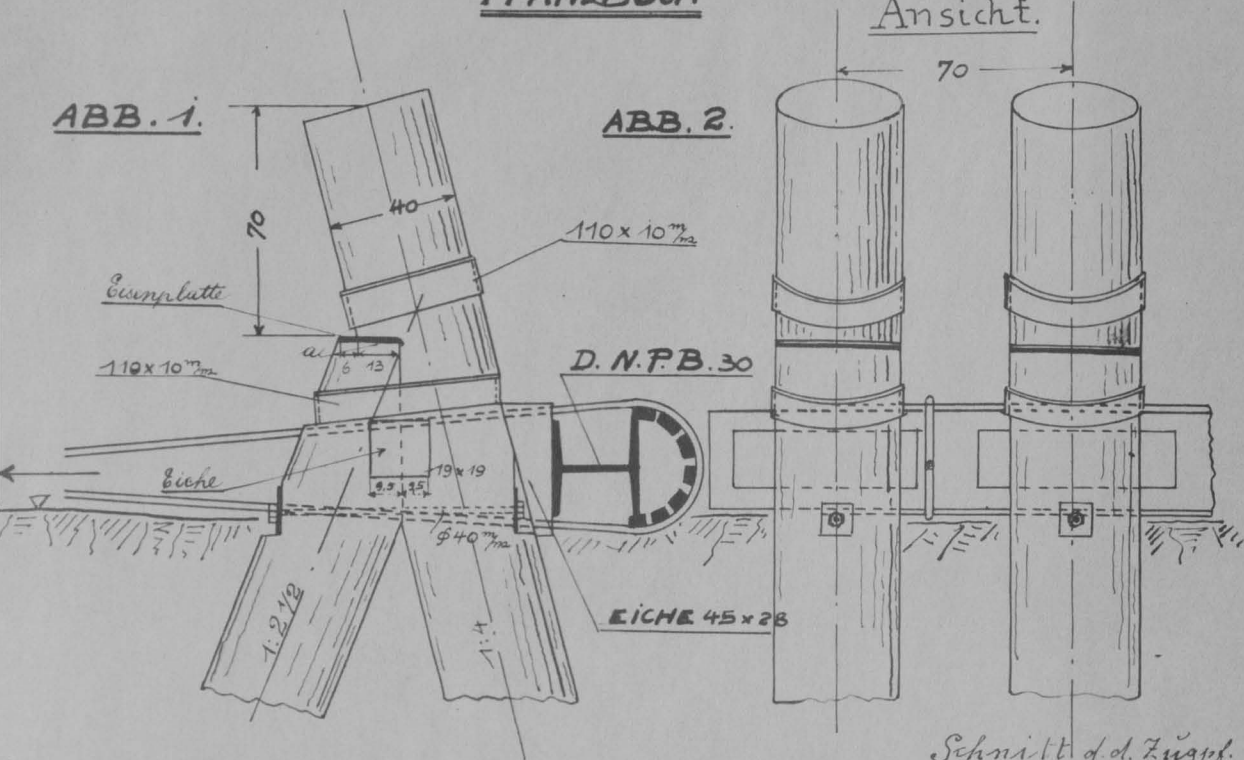
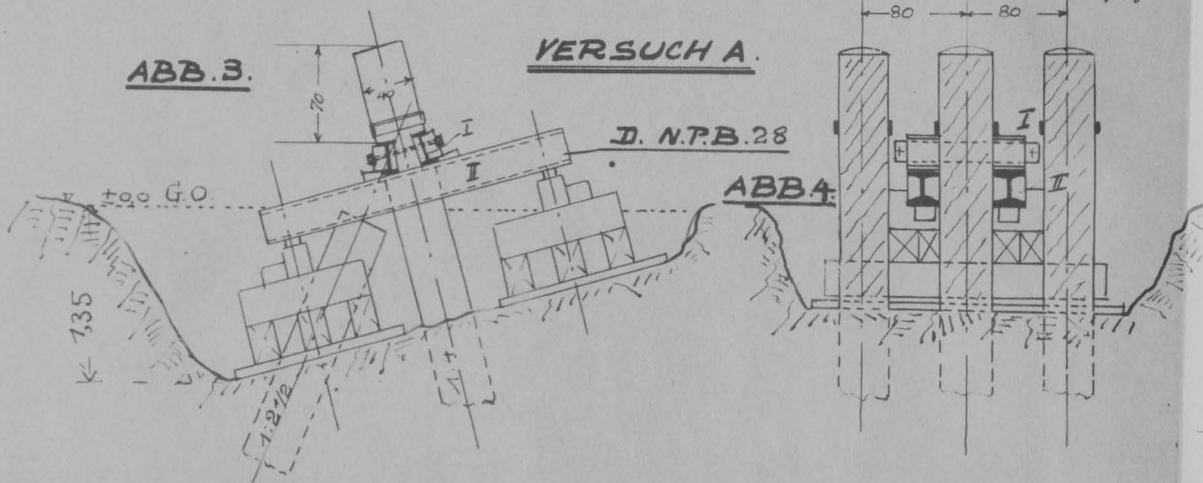


ABB. 3.

VERSUCH A.

D. N.P.B. 28

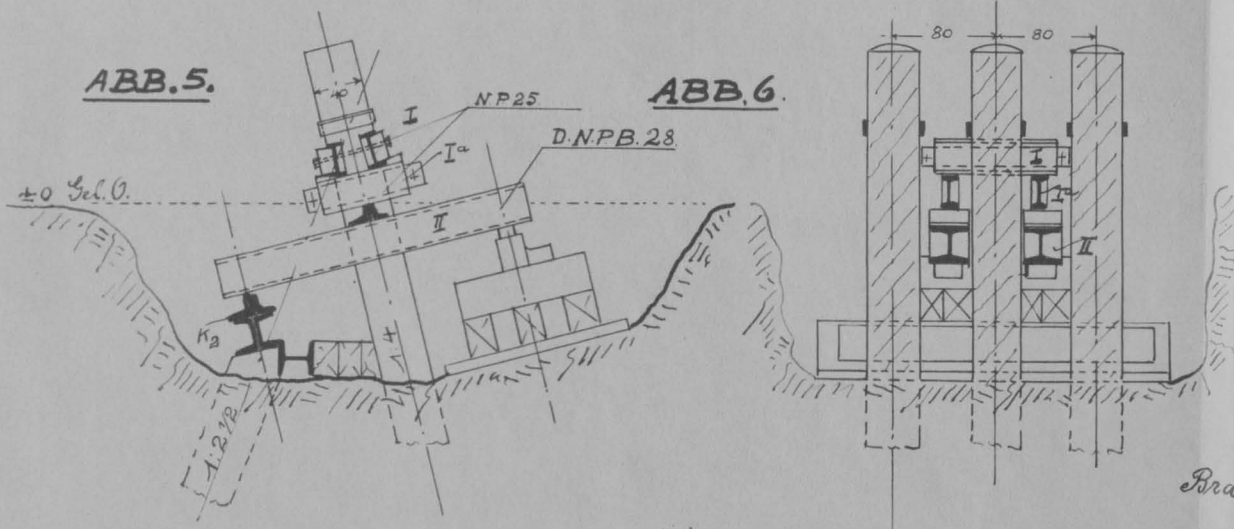
ABB. 4.



VERSUCH B.

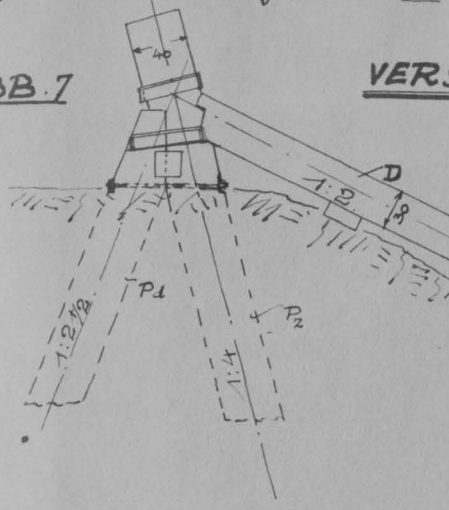
ABB. 5.

ABB. 6.



Bra

ABB. 7



VERSUCH C.

ABB. 8

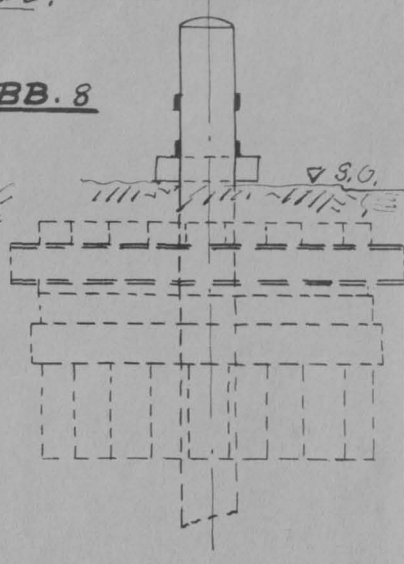


ABB. 9

VERSUCH D.

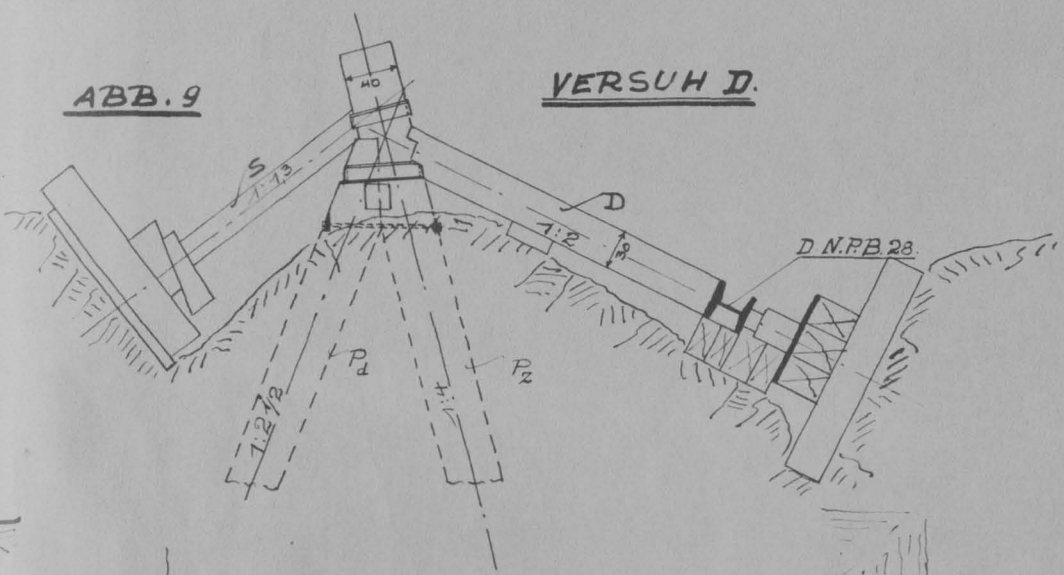
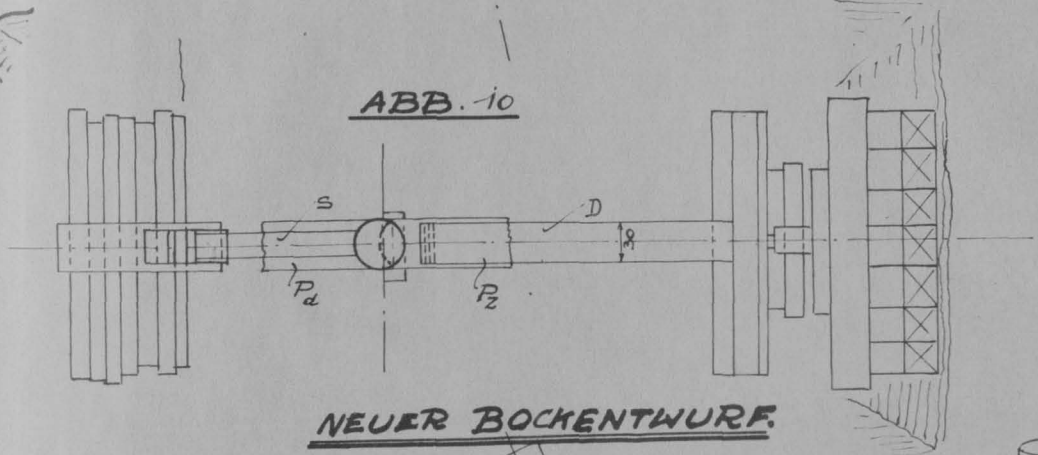


ABB. 10



NEUER BOCKENTWURF

ABB. 11

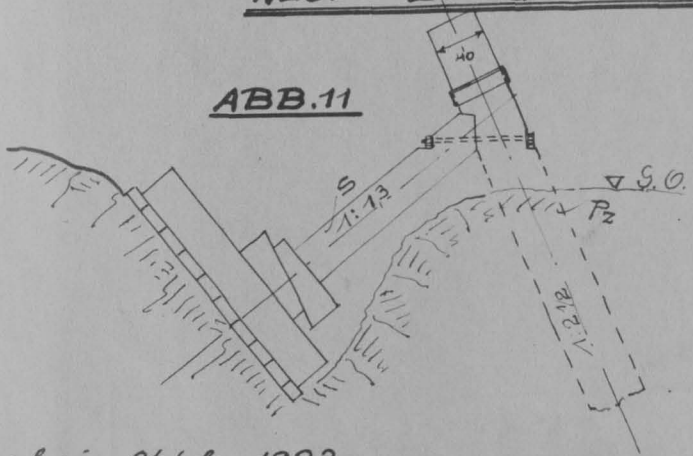
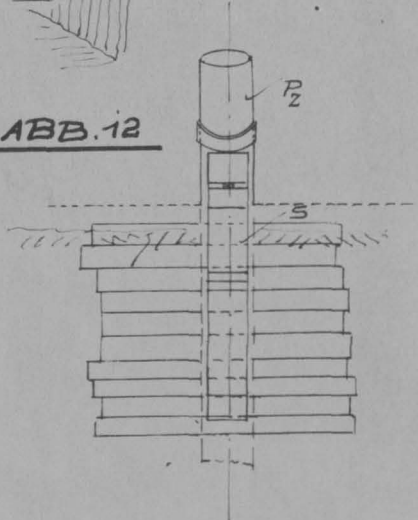


ABB. 12



I₂

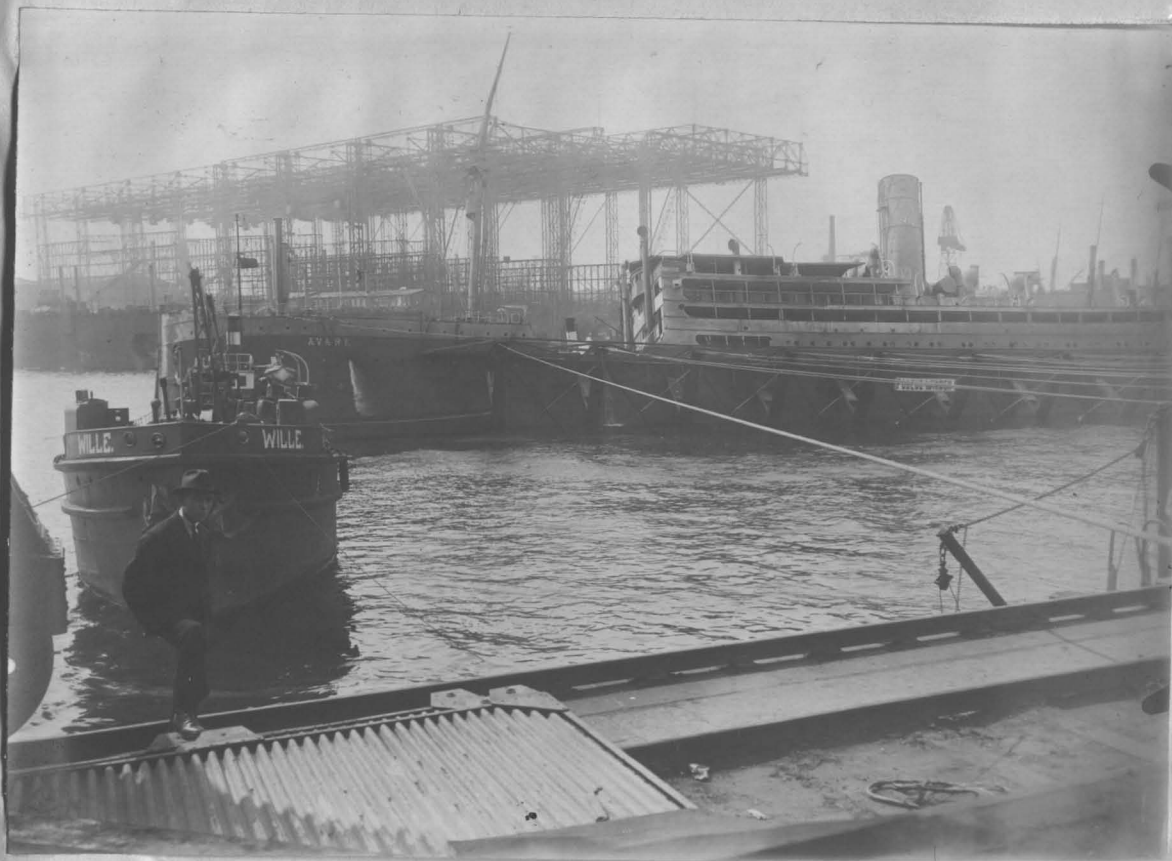


I₁





I₆



I₄





II₅



II₃





III₃



III_i





III 6



III 7





6) Verzeichnis der Schreibfehler und Ergänzungen.

Seite Zeile

- 1 4 soll es heißen: Herrn Ingenieur Heinrich Butzer.
- 1 4 von unten: um derartige Gelegenheiten zur Ausführung einer größeren Untersuchung hinreichend schnell auswerten zu können.
- 2 5 die Pfahlböcke anstatt diese ...
- 2 4 von unten: Herr Detley Holst, anstatt Detlef.
- 4 letzte Zeile. Die Preisangabe stammt vom Juli 1922, jetzt wohl erhöht.
- 6 7 von unten: Drahtseile, anstatt Druckseile.
- 7 10 8 Arbeitstage.
- 9 4 von unten: Stück, anstatt Stücken.
- 10 Unter dem Strich, 2te Zeile von unten: Dr.Jng.Arbeit.
- 11 22 von unten ist hinter "diejenige des Zugpfahles" zu setzen: Es ist aber auf S.22 unter 1,3) für den Druckpfahl doch zweifache Sicherheit ermittelt.
- 11 19 von unten: $W = \frac{3}{4} (P + \dots$
- 11 3 von unten: Beiwert $\frac{3}{4}$.
- 11 8 von unten: (Zeichen Gamma) = 750.
- 12 3 von unten: hinter ergibt - soweit nur elastische Formveränderungen infrage kommen und kein Herausziehen des Zugpfahles eintritt.
- 14 20 von unten: anstatt - Träger II₅ (Phot.II ...
vielmehr " II (Phot.II₅ ...
- 15 7 von unten: hinter Belichtungsdauer ist ausgelassen:
Es hob sich der Pfahl unter Wirkung der an ihm ausgeübten Zugkraft:
bei deren Steigerung bis :
zu 20 t : noch nicht merklich
dto. auf 26,7 t : um 3 mm
dto. bis 30,2 t : um weitere 10 mm
dto. von 31,9 t :
auf 33,1 t : um 21 mm
und im ganzen auf : 83,5 mm.
Der Maximalwert des Pfahl-Zugwiderstandes lag bei etwa 33 t.
Hinsichtlich der Einzelheiten siehe die Zusammenstellung 2, Blatt I und II.

Seite Zeile

- 16 im Abschnitt b, Zeile 7, im Fall A bis auf
 " 8 desgl. B bis auf
- 16 4 von unten: k' anstatt K'.
- 21 im Abschnitt f, Zeile 10 von unten: anstatt
 W₂ besser W_h.
- 21 4 von unten: anstatt W₂ besser W_h.
- 22 Abschnitt i, l, Zeile 2, hinter treffenden fällt
 das Komma fort.
- 22 Im Abschnitt h Zeile 4 und 5: anstatt K_h = 62 t
 lese: $35 \cdot \frac{48}{30} = 56 \text{ t.}$ - Hier erfährt der Gesamtwider-
 stand durch den passiven Erddruck keine wesentliche
 Steigerung, da ein Pfahl fehlt, und zudem der Hori-
 zontalweg kleiner ausfällt. Das hat sich bei Versu-
 chen, von Herrn Dipl.Jng. Sesterhenn ausgeführt, er-
 geben, deren Verwertung von ihm für eine Dr.Jng.-
 Arbeit geplant ist.
- 24 13 von oben: anstatt - zu den ersten 3 Reihen - in den
- 24 4 von unten: anstatt das Zusetzen - das Zurichten
- 25 11 anstatt: auf - "bei Mitwirkung des passiven Erd-
 druckes auf K'₁.
- 25 zu Abschnitt 11. Siehe hierzu die Bemerkung zu S. 20,
 nach welcher die Schätzung 70 t etwas zu hoch bewor-
 den sein dürfte.
- 25 7 über dem Strich, anstatt: S - "Winkel Delta".
- 26 13 anstatt würde ich - würde sich die ...
- 26 16 $p_1 = \frac{1}{2,5} p = \dots$
- 31 9 anstatt: gewisser - in den Dienst der Lösung be-
 stimmter Bauingenieur-Aufgaben stellt, -

